

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

GOOSE komunikace u elektrických ochran řady Relion

**GOOSE communication for electrical protections of the
Relion series**

2019

Bc. Ondřej Kabot

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Kabot**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **GOOSE komunikace u elektrických ochrany řady Relion**
GOOSE communication for electrical protections of the Relion series
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochrany a jištění
2. Popis a parametry elektrických ochrany řady Relion (REF615), GOOSE komunikace
3. Vytvoření funkčních konfigurací ve dvou ochranách REF 615 se simulací vypínače, dvou odpojovačů a uzemňovače v programu PCM600
4. Instalace konfigurací do ochrany a ověření funkčnosti všech konfigurovaných bloků včetně standardních bloků v rámci pole
5. Vytvoření minimálně dvou GOOSE ovládacích signálů mezi ochranami v programu PCM600
6. Otestování vytvořených GOOSE zpráv na funkčních konfiguracích

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
6. Firemní literatura a katalogy elektrických ochrany řady Relion.
7. Soubor norem IEC 61850


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019





prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 22. dubna 2019


.....
podpis studenta

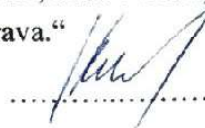
Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi, Ing. Ondřeji Kropáčovi a dalším technikům servisního oddělení firmy Q - ELEKTRIK a.s., za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

Dne: 24. dubna 2019



podpis zástupce

Abstrakt

Tato práce popisuje funkci moderních elektronických ochran v různých aplikacích a jejich výhody a nevýhody oproti elektromechanickým ochranám. Dále se zabývá komunikačními protokoly, používanými jak pro horizontální komunikaci mezi ochranami, tak vertikální s nadřazenými systémy. Zejména je zaměřena na popis horizontální komunikace GOOSE, která je aplikovaná i v praktické části práce. V té je také podrobně popsán postup konfigurování ochran REF 615 a komunikace mezi nimi.

Klíčová slova

ochrana; GOOSE; komunikace; konfigurace; REF 615; IEC 61850; Q - ELEKTRIK a.s.; odpojovač; vypínač

Abstract

This thesis describes the function of modern electronic protection relays in various applications and their advantages and disadvantages in comparison to electro-mechanical protections. It also characterizes some of communication protocols used for both horizontal and vertical communication. The focus is put on GOOSE type communication, because it is included in practical part of the thesis. Practical part of the thesis also describes configuration of protection relays and communication between them.

Key words

Protection relay; GOOSE; communication; configuration; REF 615; IEC 61850;
Q - ELEKTRIK a.s.; disconnecter; circuit breaker

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
U	V	Napětí
U_A	V	Napětí ve fázi A
U_B	V	Napětí ve fázi B
U_C	V	Napětí ve fázi C
I	A	Proud
I_A	A	Proud ve fázi A
I_B	A	Proud ve fázi B
I_C	A	Proud ve fázi C
f	Hz	Frekvence
R	Ω	Odpor
I₀	mA	Reziduální proud
t	ms	Čas
P	W	Činný výkon
Q	Var	Jalový výkon
S	VA	Zdánlivý výkon

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
AI	Analog Input
CB	Circuit Breaker
CSWI	Control Switch I
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device
HMI	Human Machine Interface
LED	Light Emitting Diode
LD	Logical Device
LN	Logical Node
PD	Physical Device
PO	Power Output
SO	Signal Output
SCL	Substation Configuration Language
XML	Extensible Markup Language
ICD	IED Capability Description
SSD	System Specification Description
SCD	Substation Configuration Description
CDC	Common Data Class
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
CID	Configuration IED Description
HSO	High Speed Output
BI	Binary Input
BO	Binary Output
MTN	Měřicí transformátor napětí
MTP	Měřicí transformátor proudu
QM	Vypínač

Q1	Odpojovač systému A
Q2	Odpojovač systému B
QE	Uzemňovač vývodu

Seznam ilustrací

Číslo ilustrace	Název ilustrace	Číslo stránky
1.1	Diagram zkratové funkce	20
1.2	Diagram zemní směrové funkce	21
2.1	Znázornění komunikace Multicast	23
2.2	Struktura komunikace Publisher-Subscriber	24
2.3	Topologie rozvodny	25
2.4	Znázornění úrovní protokolu IEC 61850	26
2.5	Hierarchie dat v IEC 61850	27
2.6	Diagram dat IEC 61850	27
2.7	Znázornění GOOSE komunikace	28
2.8	Diagram intervalů přenosů zpráv GOOSE	30
4.1	Konfigurace vstupů a výstupů	34
4.2	Konfigurace ovládacích bloků	35
4.3	Logika interních bloků	36
4.4	Konfigurace ochranných funkcí	36
4.5	Schéma funkce kontroly vypínací cesty	37
4.6	Přiřazení signálů pro LED	38
4.7	Bloky komunikace v ochraně MASTER	38
4.8	Bloky ovládání v ochraně SLAVE	39
4.9	Podmínky zapnutí vypínače	40
4.10	Konfigurace manipulačních povelů a zpoždění	41
4.11	Ukázka nastavení parametrů zpožďovače	41
4.12	Druhá část konfigurace logiky	42
4.13	Jednopolové schéma v prostředí PCM600	43
4.14	Konfigurace komunikace ochrany SLAVE	44
4.15	Konfigurace LED ochrany SLAVE	45
4.16	Nastavení data setů ochrany MASTER	45
4.17	Nastavení data setů A2	46

4.18	Nastavení data setů A2	46
4.19	Nastavení data setů A3	47
4.20	Nastavení data setů A4	47
4.21	GOOSE zprávy přijímané ochranou MASTER	48
4.22	Nastavení data setu B1	48
4.23	Nastavení data setu B2	49
4.24	Nastavení Signal-Matrix v ochraně SLAVE	49
5.1	Zapojení modelů	50
5.2	Připojení jednotlivých vstupů a výstupů	51
5.3	Příklad sledování signálů v reálném čase	53
5.4	Zaznamenaná data komunikace blokování	54
5.5	Zobrazení času sepnutí	55
5.6	Zobrazení času vypnutí	55
5.7	Porovnání času vysílání signálů	56

Obsah

Úvod.....	- 15 -
1 Obecný popis ochran.....	- 16 -
1.1 Požadavky na IED a jejich periferie.....	- 16 -
1.1.1 Požadavky na IED	- 16 -
1.1.2 Požadavky na periferie	- 17 -
1.2 Možnosti testování ochran	- 17 -
1.2.1 Primární zkoušky.....	- 17 -
1.2.2 Sekundární zkoušky	- 18 -
1.3 Dělení IED.....	- 18 -
1.3.1 Ochraný vývodové REF	- 18 -
1.3.2 Ochraný generátorové REG	- 18 -
1.3.3 Ochraný motorové REM	- 18 -
1.3.4 Ochraný transformátorové RET	- 19 -
1.3.5 Ochraný pro kapacitorové baterie REV	- 19 -
1.3.6 Rozdílové ochraný pro vedení RED.....	- 19 -
1.3.7 Napěťové ochraný REU	- 19 -
1.4 Popis jednotlivých ochranných funkcí	- 19 -
1.4.1 Proudové ochraný	- 19 -
1.4.2 Ochraný zemního spojení.....	- 20 -
1.5 Komunikační protokoly a jejich základní vlastnosti	- 21 -
2 Komunikace, protokol IEC 61850 a GOOSE	- 23 -
2.1 Typy využívaných komunikací	- 23 -
2.1.1 Unicast, Multicast, Broadcast.....	- 23 -
2.1.2 Publisher-Subscriber	- 23 -
2.2 IEC 61850	- 25 -
2.3 Soubory typu SCL.....	- 28 -
2.4 GOOSE komunikace	- 29 -
3 Specifikace zadání praktické části.....	- 31 -
3.1 Ochrana REF 615	- 31 -

3.2	Zkušební model	- 31 -
3.3	Konfigurace ochran	- 31 -
3.4	Blokovací podmínky	- 32 -
3.4.1	Blokovací podmínky vypínače	- 32 -
3.4.2	Blokovací podmínky uzemňovače	- 32 -
3.4.3	Blokovací podmínky odpojovačů	- 32 -
4	Konfigurace ochran	- 34 -
4.1	Konfigurace ochrany MASTER	- 34 -
4.2	Konfigurace ochrany SLAVE	- 39 -
4.3	Jednopolové schéma	- 42 -
4.4	Konfigurace komunikace GOOSE	- 45 -
4.4.1	Ochrana MASTER	- 45 -
4.4.2	Ochrana SLAVE	- 48 -
5	Realizace modelu a vyhodnocení	- 50 -
5.1	Zapojení vstupů a výstupů ochran	- 51 -
5.2	Testování úlohy	- 52 -
5.2.1	Testování konfigurace	- 52 -
5.2.2	Testování komunikace GOOSE	- 53 -
	Závěr	- 57 -
	Použitá literatura	- 59 -

Úvod

Tato práce se zaměřuje na elektrické ochrany v rozvodu. Popisuje základní výhody a nevýhody těchto zařízení oproti jejich předchůdcům. Obsahuje základní popis jednotlivých typů ochran, jejich dělení, výčet základních ochranných a ovládacích funkcí. Celá práce je prováděna na základě standardu IEC 61850. Detailněji se práce zabývá popisem způsobů komunikace, které se využívaly nebo využívají. Jsou zde stručně shrnuty jejich výhody a nevýhody. Zvláštní důraz je zde kladen na komunikaci GOOSE. Informace uvedené v teoretické části této práce jsou poté aplikovány na sestavení modelu dvou stejných kobek, přičemž každá je chráněna ochranou REF 615 a komunikují mezi sebou pomocí zpráv GOOSE. Jelikož se jedná o simulaci dvou paralelních kobek, přičemž jedna je brána jako primární a druhá jako záložní, je většina informací komunikována z nadřazené ochrany do záložní. Ta pak na základě přijatých dat provádí manipulace v záložní kobce. V závěru je pak provedeno otestování funkčnosti jednotlivých konfigurací ochran a poté také komunikace. Ta je dále rozebrána a popsána včetně časů, které byly pro jednotlivé operace potřebné.

1 Obecný popis ochran

IED neboli Intelligent Electronic Devices jsou elektrická zařízení, která se využívají k monitorování, chránění a ovládání dalších elektrických zařízení, jako jsou motory, generátory, transformátory, kondenzátorové baterie, vedení a další. V minulosti se využívaly ochrany analogové, které obsahovaly méně elektroniky a plnily především funkci ochrannou, bez možnosti monitorování a ovládání dalších zařízení. Nebyla u nich možná ani vzdálená správa přes ethernet. Jednou z velkých výhod moderních ochran je možnost konfigurace a přístup k nim přes internet. Tím je umožněna centralizovaná správa těchto zařízení, dostupnost údajů z chráněných objektů a v případě poruchy také popis události, která se stala, bez toho, aniž by se obsluha musela fyzicky nacházet u zařízení. Výhoda je také v selektivitě a možnosti vzájemného blokování. Ochrany jsou připojeny na společnou síť a přes zvolený protokol mezi sebou nastavená data komunikují. Podle jejich konfigurace jsou poté daná zařízení schopna vzniklé události vyhodnocovat i s ohledem na další prvky. V případě správné konfigurace zvládnou omezit dopad vzniklé události na zbytek systému. Nevýhodou je vyšší citlivost na energetické rušení, z tohoto důvodu je i vyšší nárok na elektromagnetickou kompatibilitu. Musíme zajistit, aby napájení a okolní zařízení neovlivňovala běh ochrany takovým způsobem, který by narušil její funkci. S rostoucí mírou automatizace, centralizace a důrazu, který se v této době klade na bezpečnost, se jejich využití stále rozrůstá.

1.1 Požadavky na IED a jejich periferie

Základními požadavky na IED jsou přesnost, selektivita, spolehlivost a rychlost. Mnohé z těchto parametrů závisí nejen na samotném zařízení, ale také vhodné konfiguraci a na zvolených perifériích.

1.1.1 Požadavky na IED

Citlivost

Schopnost reagovat pouze na podněty, které mají ochranu spustit a nereagovat na podněty z oblastí mimo tu, kterou má dané zařízení chránit.

Přesnost

Je důležité, aby ochrana co nejméně zkreslovala naměřené hodnoty, získané z přístrojových transformátorů napětí a proudu. Znamená to také co nejpřesnější převod na digitální signál.

Rychlost

Jako u všech ochranných prvků požadujeme, aby v případě poruchy ochrany vybavily co nejdříve, ale aby nedošlo k vybavení ve stavech, kdy odpojení není nutné, například přechodné jevy v síti způsobené rozběhem motoru velkého výkonu nebo dalšími podobnými situacemi. Další možností zpoždování reakce ochranných funkcí je selektivita, kde se snažíme zabránit působení nadřazené ochrany.

Selektivita

Při jakémkoliv poruchovém stavu správná funkce požaduje, aby ochrany vybavily v co nejmenším rozsahu, aby zapůsobila ochrana, která je nejbližší postiženému místu a nedošlo tak zbytečně k odpojení větší části elektrizační soustavy, případně více zařízení, než je nutné.

Spolehlivost

Schopnost vykonávat nakonfigurované akce, které po ochraně požadujeme ve stanovených časech. Spolehlivost se dá zvýšit použitím kvalitních periférií, jako jsou například přesnější měřicí transformátory.

1.1.2 Požadavky na periferie

Všechny periferie ovlivňují, jak přesně budou veličiny na chráněném zařízení monitorovány a jak rychle dojde k samotnému odpojení od zdroje, v případě, že dojde k poruše. U měřících transformátorů je to například chyba daného zařízení. U proudových transformátorů je také podstatná informace jeho nadproudové číslo, které udává násobek jmenovitého proudu, při kterém nebude chyba převodu větší než 10% jmenovitého proudu. U napěťových transformátorů požadujeme, aby byly schopné převádět i velmi nízká napětí pro správné vyhodnocení podpěťových ochran. Další důležitou vlastností MTN je také násobek napětí, které je tento prvek schopný vydržet po dobu 8 hodin. U vypínačů, stykačů a relé, které jsou v obvodu zapojeny, jde pak hlavně o rychlost, jakou jsou tyto prvky schopné spínat/vypínat.

V dnešní době se začínají v některých aplikacích používat místo tradičních měřících transformátorů proudu a napětí také senzory. Ty mají své výhody i nevýhody. Senzory pracují na principu Rogovského cívky a tím, že postrádají jádro, eliminujeme možnost přesycení, které pak zkresluje velikost měřené veličiny. Jsou také podstatně menší a umožňují odlišný typ instalace. Z hlediska požadavků ale mají jednu značnou nevýhodu, a to tu, že výstupní signál je velmi slabý a ochrana musí být uzpůsobena k jeho zpracování. Další nevýhodou je, že takto slabý signál je náchylný na elektromagnetické rušení a musíme tedy zajistit, aby při přenosu z místa měření k ochraně nedošlo ke zkreslení signálu. Proto pro propojení senzoru s ochranou využíváme z pravidla koaxiální kabely.

1.2 Možnosti testování ochran

Jako každé zařízení elektroenergetiky i ochrany je potřeba testovat. U těchto zařízení máme možnosti provádění dvou typů testování, primární a sekundární. Každá možnost má své výhody i nevýhody.

1.2.1 Primární zkoušky

Při provádění primárních zkoušek dochází k testování ochrany přímo na výkonové síti, testuje se celá sestava včetně měřících transformátorů a dalších periférií. Tyto zkoušky jsou nejspolehlivější a nepřesněji ukazují, jak ochrana bude fungovat při připojení na chráněný objekt.

Jsou ovšem velmi finančně i realizačně náročné, není proto možné provádět je vždy a vyžadují zvláštní podmínky. Pro umožnění primárních zkoušek je nutné pracoviště zajistit a chráněné zařízení vypnout. Provádějí se vždy při instalaci nového zařízení a poté v intervalech stanovených výrobcem, popřípadě provozovatelem.

1.2.2 Sekundární zkoušky

Jsou nejčastěji prováděné, levné, a můžeme otestovat všechny funkce ochrany. Nejsou však tak komplexní, jako zkoušky primární a testujeme pouze ochranu bez periferií. Na vstupy ochrany přivádíme již sekundární napětí, které by bylo na sekundární straně měřících transformátorů, a simulujeme tím poruchové stavy. Tato možnost je dobrá na orientační otestování konfigurace a funkčnosti ochran a případné komunikace s dalšími zařízeními.

1.3 Dělení IED

Některé aplikace vyžadují použití specifické ochrany pro dané zařízení, jelikož jsou potřebné specifické ochranné a řídicí funkce. Jsou to například ochrany generátorové, motorové, transformátorové, pro kapacitorové baterie a další. Celá řada Relion 615 umožňuje jak použití s běžnými měřícími transformátory proudu a napětí, tak také v některých konfiguracích použití se senzory. Ty vyžadují speciální vstupy, jelikož velikost výstupních veličin je velmi malá a musí být v ochraně před zpracováním zesílena.

1.3.1 Ochrany vývodové REF

Nejuniverzálnější ochrany, které se používají k chránění vývodů různých typů. Obsahují velkou variaci ochranných i řídicích funkcí, které zajišťují jejich flexibilitu. Chybí zde však specifické funkce, které jsou pro efektivní chránění některých zařízení potřeba.

1.3.2 Ochrany generátorové REG

Používají se pro ochranu synchronních generátorů, popřípadě pro chránění propojovacího vedení mezi více generátorovými jednotkami. Hlavní funkcí v těchto zařízeních bývá ochrana proti zemnímu spojení statoru se základním kmitočtem na úrovni třetí harmonické, ale i další. Dále obsahují výkonovou ochranu, která slouží proti přetížení, a také ochranu proti zpětnému toku výkonu, která zabraňuje tomu, aby generátor přešel do motorického režimu. Další podstatnou funkcí u ochran pro synchronní generátory je ochrana proti ztrátě synchronismu. Dalšími specifickými funkcemi jsou ochrana proti přebuzení a podbuzení. Všechny základní konfigurace ochran disponují základními proudovými a napěťovými ochrannými funkcemi.[1]

1.3.3 Ochrany motorové REM

Tyto ochrany jsou určeny pro chránění elektrických motorů a disponují mimo základních ochran jako jsou proudové, napěťové a frekvenční, taky ochranami specifickými pro chránění motorů. Jedná se například o ochranu proti ztrátě zátěže, ta slouží chránit stroj proti tomu, aby nedošlo k jeho poškození v případě nečekané ztráty zátěže. Opačnou funkcí je pak ochrana proti zablokování motoru zátěží, tedy jeho přetížení a tím uvedení do stavu na krátko. Dále také může

konfigurace obsahovat ochranu proti tepelnému přetížení, která může být realizovaná tepelnými čidly nebo matematickým modelem, který dle odebraného proudu a zadaných konstant pro tepelné děje v motoru vypočítává okamžité teploty. Další podstatnou ochranou je funkce kontroly rozběhu motoru, která kontroluje, aby rozběh motoru netrval příliš dlouhou dobu, aby při rozběhu nedošlo k blokaci rotoru a také aby za danou dobu nebyl překročen maximální počet nastavených startovacích cyklů. [1]

1.3.4 Ochrany transformátorové RET

U transformátorových ochran je specifických funkcí o něco méně, ale záleží na požadavcích aplikace. Je zde například ochrana proti zbytkovému přepětí. Také se používá ochrana proti zemnímu spojení s nízko-impedančním omezením a s vysoko-impedančním omezením. Využívá se zde také rozdílová ochrana. Ta v případě podélného použití porovnává hodnoty na vstupu a na výstupu transformátoru a podle rozdílu pak vyhodnocuje, zda má vybavit nebo ne. Tato funkce se využívá pouze u transformátorů s dvěma vinutími, protože v případě terciárního vinutí by docházelo ke ztrátám, o kterých by modul ochrany nevěděl a mohl by vybavit v nežádoucí situaci.

1.3.5 Ochrany pro kapacitorové baterie REV

U těchto ochran se používají i funkce kontroly kvality. Jsou to funkce celkového zkreslení požadovaného proudu, celkového harmonického zkreslení napětí, kolísání napětí a nevyváženost napětí.

1.3.6 Rozdílové ochrany pro vedení RED

Ochrana určená pro chránění vedení, ať už přenosových nebo distribučních, je vhodná i pro chránění zón, které v obvodu mají transformátor. Využívá měření na dvou koncích vedení a pro komunikaci mezi sebou mohou využívat buďto optického vlákna nebo pevného propojení.

1.3.7 Napět'ové ochrany REU

Ochrana vhodná pro monitorování a regulaci napětí. Obsahuje funkce, vyhodnocující jak napětí, tak i jeho frekvenci. Dá se použít jako ochrana proti podpětí, přepětí a snižování zátěže.

1.4 Popis jednotlivých ochranných funkcí

Jelikož náplní této práce není detailní rozbor ochranných funkcí, budou v ní popsány jen ty nejběžněji používané ochranné funkce s detailnějším popisem u ochran použitých v projektu. Funkcí je totiž velké množství a jejich problematika je velmi rozsáhlá.

1.4.1 Proudové ochrany

Proudové ochrany jsou buď směrové nebo nesměrové. U směrových ochran je možné rozlišování směru toku proudu nastavit, takže je možné je využívat i jako ochrany nesměrové, což u nesměrových možné není, ty nejsou pro rozlišování směru toku proudu uzpůsobeny. Směrové funkce se využívá pouze u stupňů ochranných modulů s nižším a vyšším nastavením, protože v

případě, že je hodnota poruchového proudu dostatečně vysoká, aby vybavila ochrana zkratová, směr není podstatný a je nutné chráněné zařízení bezprostředně odpojit od zdroje elektrické energie. Značení u směrových funkcí je stejné jako u jejich nesměrových verzí, pouze se na začátek přidává písmeno D ve významu "Directional".

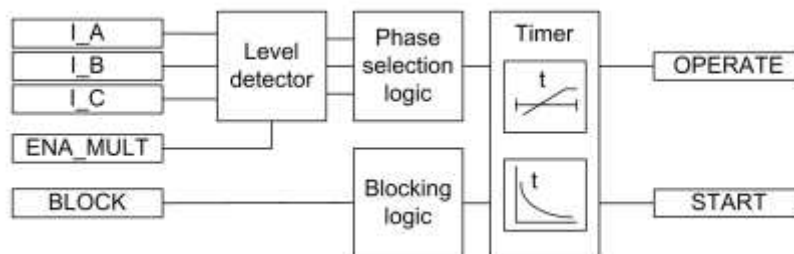
Tyto ochrany se nacházejí ve všech základních konfiguracích, ale ne všechny jejich moduly. Některé konfigurace nevyžadují směrové ochrany, popřípadě vyžadují méně nebo více modulů jednoho z nastavení.

Mimo dělení, jestli se jedná o směrovou nebo nesměrovou ochranu, se nadproudové ochrany dělí ještě podle proudu, které vypínají.

Nejnižším stupněm je časově závislý modul, který je zaměřený zejména na vypínání nadproudů menší velikosti, které mohou trvat i delší dobu. Tento stupeň nastavení umožňuje volit startovací proud, vypínací křivku, časové zpoždění, prodlevu před vynulováním čítače, způsob měření proudu, v případě směrových ochran pak úhel a další možnosti. V IEC normalizaci se tato úroveň nastavení označuje PHLPTOC.

Střední stupeň nadproudové ochrany je také časově závislý, ale liší se tím, že v nastavení má jiné vypínací křivky a je určený pro vypínání vyšších nadproudů, popřípadě zkratů s nízkou velikostí. Tento modul nese označení PHHPTOC a možnosti jeho nastavení jsou téměř totožné s nejnižším stupněm.

Nejvyšší stupeň je zkratová, časově nezávislá ochrana, u které se nastavuje pouze startovací proud, násobík startovacího proudu (například pro rozběhy strojů velkého výkonu) a zpoždění vybavení ochrany, které je nutné pro selektivitu. [1]



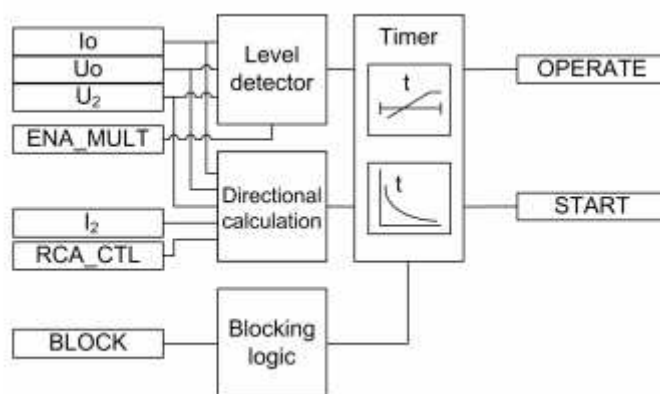
Obrázek 1.1: Diagram zkratové funkce [1]

1.4.2 Ochrany zemního spojení

Tyto ochrany se používají v izolovaných sítích IT, kde může dojít k zemnímu spojení. Tak jako u proudových ochran i tyto ochrany mají mezi svými moduly směrové a nesměrové verze. Tyto sítě byly vymyšleny tak, aby první porucha nemusela vést k vypnutí, což je hlavním důvodem, proč se tyto sítě využívají v průmyslu. V případě vzniku první poruchy tedy ve většině případů požadujeme pouze signalizaci. To neznamená, že tyto poruchy se může přehlížet, ale umožňuje to obsluhu lépe se připravit na následující nutné odpojení a například zajistit napájení z jiné strany. U tohoto typu ochran se velmi často využívá směrové funkce, je totiž důležité, aby

bylo možné identifikovat, jestli k poruše došlo před kobkou, nebo až za ní. Z tohoto důvodu se v případě instalace směrové zemní ochrany provádí takzvané směrování ochrany. Spočívá v tom, že se přes součtový transformátor proudu, který je umístěn za vypínačem, provede zkušební kabel, jehož konce jsou zapojeny do speciálního přípravku. Tento přípravek je schopný simulovat jak vznik zemního spojení se směrem toku energie do kabelu, tak z něj. Podle reakce ochrany se poté pozná, zda je vše nakonfigurováno správně.

Bloky I0 a U0 zde znázorňují zbytkový proud a napětí, I2 a U2 pak zpětnou složku proudu a napětí. Vstup RCA_CTL slouží v případě potřeby pro ovlivnění úhlu charakteristiky. [1]



Obrázek 1.2: Diagram zemní směrové funkce [1]

1.5 Komunikační protokoly a jejich základní vlastnosti

Hlavním důvodem zavedení komunikačních protokolů, jejich následného rozvíjení a snaha je sjednotit bylo umožnění komunikace všech zařízení, používaných k automatizaci elektrizační soustavy. Vývojem novějších protokolů a jejich inovací se snažíme dosáhnout lepší bezpečnosti, integrace, spolehlivosti, ovládání, ceny a dostupnosti. Použití standardizovaných protokolů mimo jiné umožňuje například nezávislé testování, což se poté promítne ve vývoji efektivnějších zařízení a také umožňuje snadnější vylepšování, popřípadě modifikaci. Běžně je elektrizační síť systémem, kde je propojena přenosová soustava, distribuční soustava a generační jednotky, ať už to jsou bloky tepelných či jaderných elektráren, popřípadě větrné nebo solární farmy. Bylo by výhodné, kdyby všechny ochrany v soustavě komunikovaly mezi sebou co nejvíce dat o svém momentálním stavu. Množství těchto dat by však bylo vysoké a zbytečně by docházelo k zahlcení komunikace. Mimo to by taková komunikace napříč celou elektrizační soustavou byla bezpečnostním rizikem. Z toho důvodu se tato komunikace z pravidla používá hlavně u podružných systémů, rozvodů, popřípadě v určitých úsecích nebo spolupracujících objektech. Údaje se pak shromažďují na místech příslušných dispečinků. Mimo to se i v jednom systému využívá většinou různých protokolů, protože na každé úrovni komunikace je výhodnější použití jiného protokolu.

Distribuční rozvodny jsou hlavními uzly elektrizační soustavy a dle jejich velikosti a úrovně modernizace se v nich nachází různé počty ochran. V dnešní době je většina rozvoden již minimálně částečně modernizovaná z důvodu používání bezobslužných rozvoden a potřeby kontrolovat jejich stav, popřípadě je ovládat. Tyto zařízení mohou být od odlišných výrobců a je nutné, aby byly schopné bezproblémově komunikovat mezi sebou. K tomu se využívají různé komunikační protokoly jako například IEC 60870-5, DNP3 a IEC 61850.

2 Komunikace, protokol IEC 61850 a GOOSE

2.1 Typy využívaných komunikací

2.1.1 Unicast, Multicast, Broadcast

Unicast

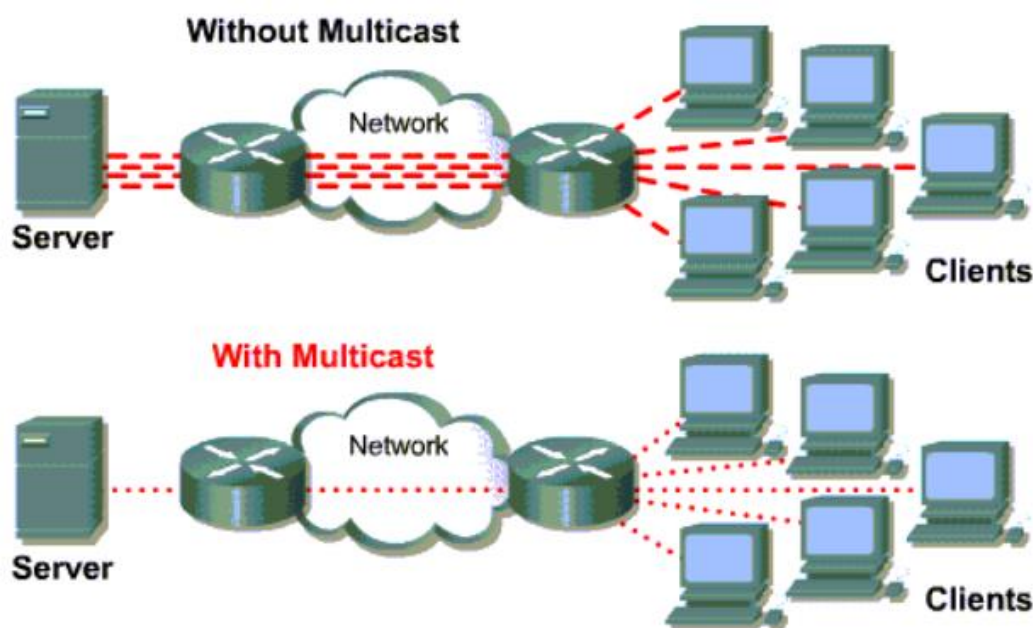
Je to komunikace pouze mezi dvěma body, informace tedy putuje pouze od odesílatele k adresátovi.

Broadcast

V tomto případě se jedná o opak Unicastu, dochází zde totiž k odeslání dat všem příjemcům, kteří jsou v tu dobu připojeni.

Multicast

Je to typ komunikace, která umožňuje využití užšího pásma než komunikace typu Unicast. V případě Multicastu, pokud vysíláme signál, který je určený pro více příjemců, jej nemusíme vysílat pro každého příjemce zvlášť. V místě, kde se signál rozděluje k více příjemcům, dochází ke kopírování paketů. Zasílá tedy data určitým skupinám příjemců.



Obrázek 2.1: Znáznornění komunikace Multicast

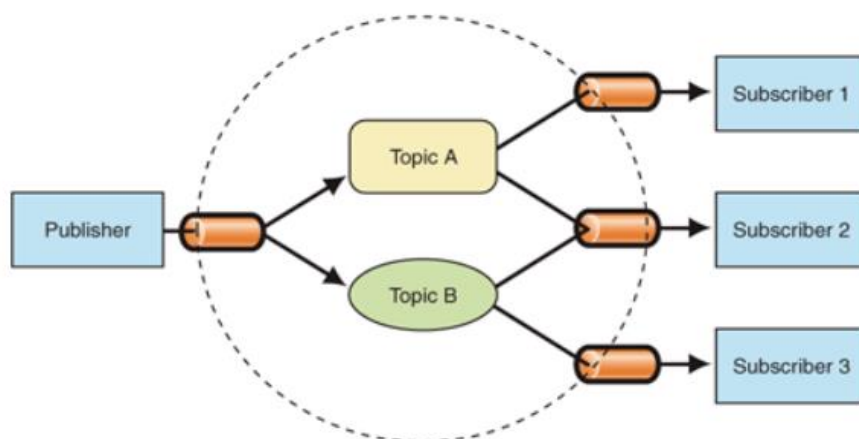
2.1.2 Publisher-Subscriber

Je to model komunikace, který se dělí na tři části. První je Publisher neboli vydavatel. Ten vysílá do druhé části, kterou je sběrnice, předem určené skupiny dat bez ohledu na to, ke

komu data budou doručena. Třetí částí je pak Subscriber, jinak také odběratel. Ten ze sběrnice odebírá nastavenou sadu dat, nehledě na to, kterým vydavatelem byla zaslána.

Výhodou tohoto systému je, že odběratelé přijímají pouze data, která jsou pro ně relevantní. Nejsou zbytečně zahlcováni informacemi, které musí zpracovat, ale pro funkci zařízení nejsou podstatná.

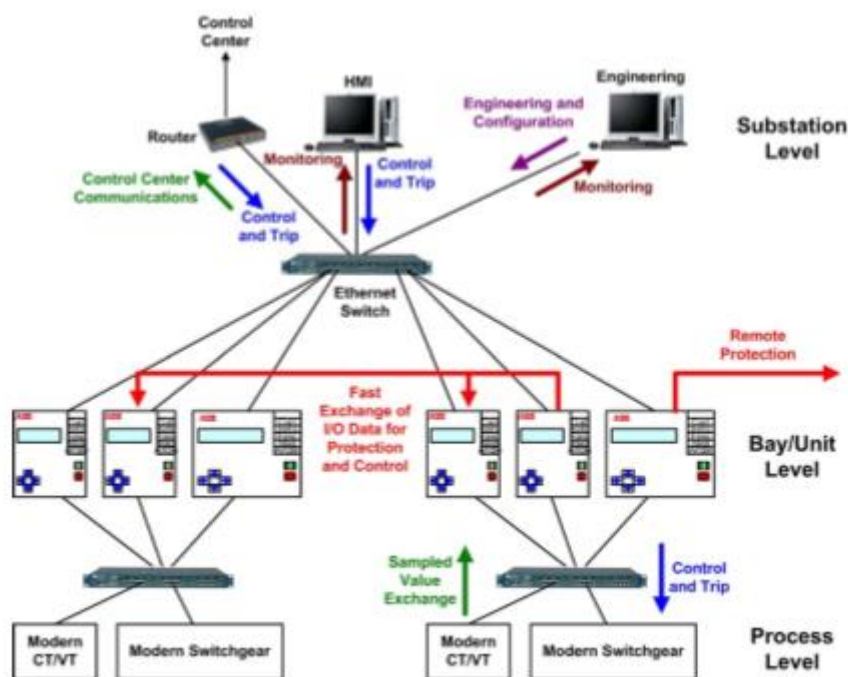
Nevýhodou tohoto modelu však je, že vydavatelé nemají přehled o stavu, kdy a jestli vůbec data k odběrateli dorazila. Další nevýhodou je také náročnost jakékoliv změny poté, co se nastavila struktura dat, protože v případě změny struktury dat, kterou vysílá vydavatel, musí být všichni odběratelé schopni přijímat data s danou strukturou.



Obrázek 2.2: Struktura komunikace Publisher-Subscriber

2.2 IEC 61850

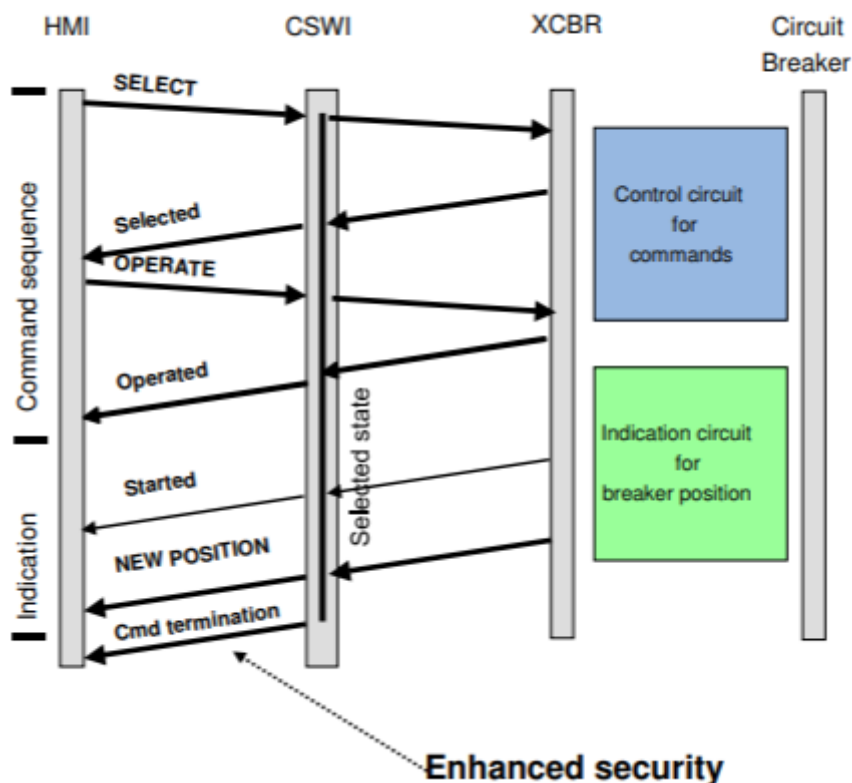
IEC 61850 je standard, který je doporučován jako systém pro navrhování automatizačních systémů rozvodn a dalších zařízení elektrizační soustavy. Tento systém pracuje se třemi úrovněmi. První je procesová úroveň, ve které se nacházejí například výkonové vypínače, odpojovače, uzemňovače a měřicí transformátory proudu a napětí. V poslední době se začínají používat i senzory proudu a napětí. Druhá úroveň je označována jako oddílová, případně úroveň pole, a zahrnuje samotná IED, ať už ochranná nebo řídicí. Poslední je pak úroveň stanice, případně rozvodny. Tato úroveň jde chápat jako velín, protože se zde nacházejí SCADA servery, řídicí střediska dispečinku a další monitorovací nebo ovládací zařízení. Na obrázku 2.1 můžeme vidět jednotlivé úrovně, na kterých protokol IEC 61850 pracuje. Ve spodní části je procesová úroveň, na kterou navazuje úroveň oddílová a poté úroveň rozvodny. Použitý typ komunikace se pak liší podle toho, pro jakou komunikaci je určený. Pokud se jedná o komunikaci mezi dvěma blízkými IED, které potřebují co nejrychlejší a nejspolehlivější komunikaci, pak se zde využívá komunikace GOOSE. Pro komunikaci se vzdálenými systémy, případně řídicími středisky se poté využívá jiný typ komunikace, který je pro daný účel nejvhodnější.



Obrázek 2.3: Topologie rozvodny [4]

Obrázek 2.2 je další možností znázornění úrovní protokolu IEC 61850. V levé části obrázku je znázorněna úroveň HMI (Human-Machine Interface), což může být například počítač na velínu rozvodny. Na tuto úroveň se dostávají všechna data z nižších úrovní a obsluha je také schopna z tohoto místa všechny ostatní systémy ovládat. Úroveň pole pak znázorňuje CSWI (Switch Control), což znázorňuje IED, která má v sobě nastavené blokace. Ty mají za úkol konečné

vyhodnocování jak příkazů přicházejících z velínu, tak údaje z měřících zařízení, které mohou být také podnětem k vybavení ochrany. Pro příklad vypnutí výkonového vypínače, který je na obrázku popsán jako Circuit Breaker a jeho softwarové označení XCBR, které se využívá při komunikaci s IED.

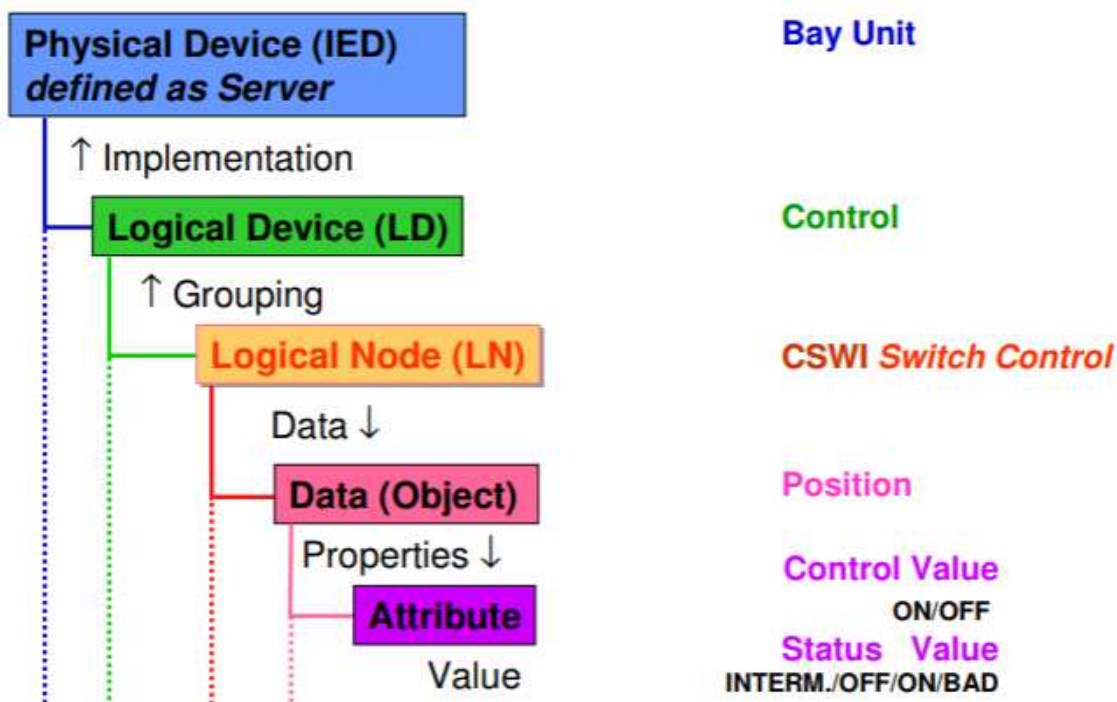


Obrázek 2.4: Znázornění úrovní protokolu IEC 61850 [6]

IEC 61850 je systém využívající objektově orientovaných modelů. Všechna zařízení komunikující v tomto systému jsou rozdělena na menší části, logické uzly (LN). Tyto virtuální jednotky jsou jednou z hlavních výhod tohoto protokolu nad staršími komunikačními protokoly. V IEC 61850 je celkově definováno 92 LN, které popisují různé ochranné, řídicí, měřící a monitorovací funkce a mimo to také fyzická zařízení, jako jsou výkonové vypínače a měřící transformátory.

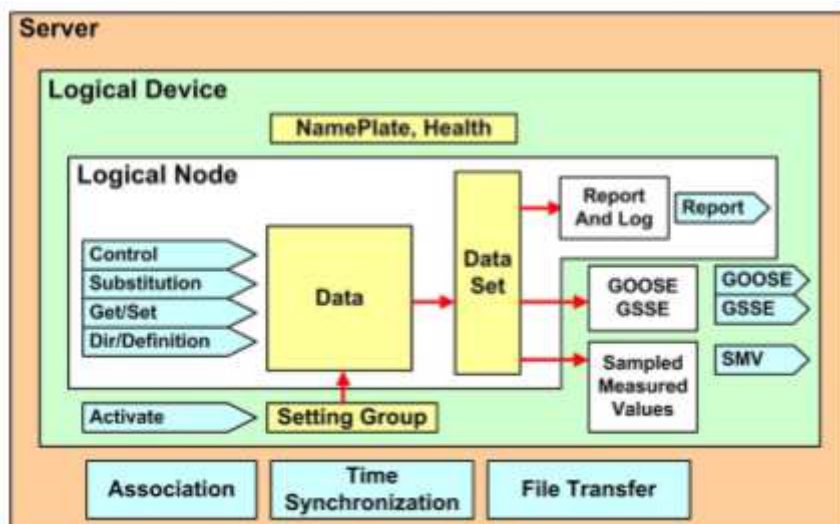
LN se mohou nacházet na jakémkoliv ze 3 úrovní komunikace, které jsou definovány pro automatizaci rozvodu v protokolu IEC 61850. Každá LN může mít až 30 datových objektů a každý z nich patří do takzvané CDC skupiny, což je z anglického Common Data Class. Samotné datové objekty mohou mít až 20 vlastností. LN, které jsou obsaženy v jedné IED, poté spadají do jednoho nebo více Logical Device (LD). Soubor nebo jeden LD jsou pak součástí fyzického zařízení (PD). Tato datová hierarchie je znázorněna na obrázku 2.3 i s možnostmi, co jednotlivé úrovně mohou obsahovat. Velká část těchto úrovní slouží k efektivnímu rozdělení a adresaci dat při zpracování. Samotné údaje o stavu zařízení a případné příkazy jsou až v nejnižším bodu

hierarchie v úrovni dat. Zde se nacházejí například hodnoty řídicích příkazů, jako je vypnutí/zapnutí výkonového vypínače, případně údaje o stavu zařízení, což může být informace o tom, zda je výkonový vypínač v zapnutém stavu, vysunutý nebo v mezipoloze.



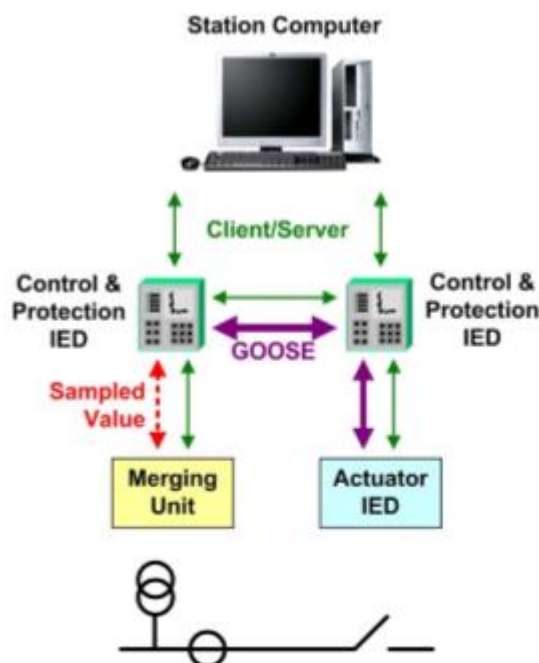
Obrázek 2.5: Hierarchie dat v IEC 61850 [6]

IEC 61850 obsahuje více možných reakcí na různé datové objekty z LN. Mimo základní kontrolování, čtení a zápis obsahuje taky rozšířené možnosti jako například seskupování, reportování, zápis dat a také přenos rychlých zpráv typu GOOSE a GSSE.



Obrázek 2.6: Diagram dat v IEC 61850 [4]

Zprávy typu GOOSE jsou využívány pro přenos zpráv s vysokou prioritou, jako jsou trip signály nebo blokační signály mezi ochranami. Model GOOSE zpráv je založen na cyklických zprávách vysoké priority vysílané jako multicast, které obsahují informace o stavu zařízení. Zprávy tohoto typu jsou vysílány kontinuálně a využívají se výhradně pro komunikaci mezi IED na malé vzdálenosti.



Obrázek 2.7: Znáznornění GOOSE komunikace [4]

Součástí IEC 61850 je Abstract Communication Service Interface (ACSI), které popisuje modely a služby používané pro přístup k jednotlivým částem specifických objektových modelů. Je to nezávislé prostředí.

2.3 Soubory typu SCL

Substation Configuration Language (SCL) je značkovací jazyk typu extensible markup language (XML), používaný protokolem IEC 61850 pro reprezentaci a konfiguraci systému. Zahrnuje reprezentační data všech zařízení, která jsou zahrnuta v rozvodně, všech logických uzlů LN a jejich atributů a také komunikační systémy. SCL soubor umožňuje lepší komunikaci mezi IED a vzájemnou funkčnost mezi nimi. Používání SCL souborů má mnoho výhod. Například umožňuje konfiguraci IED pomocí offline vývojového prostředí, což značně snižuje náročnost konfigurování IED jak časovou, tak finanční. Také umožňuje konfiguraci zařízení podporujících protokol IEC 61850 bez nutnosti internetového připojení k IED pro klientskou konfiguraci. [4]

SCL soubory se dělí na 4 typy:

- IED Capability Description (ICD): Popisuje schopnosti daného zařízení a skládá se z IED sekce, tabulky datových typů, popisu typů logických uzlů LN, volitelné komunikační a rozvodné části.

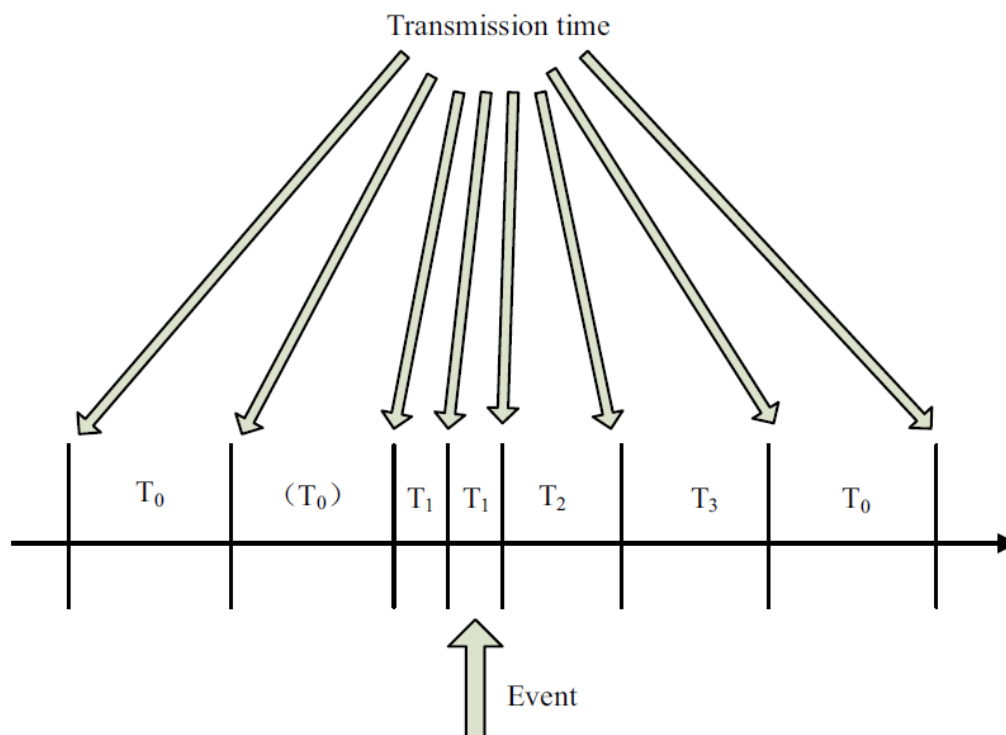
- System Specification Description (SSD): Popisuje specifikace připojených systémů a skládá se z popisu rozvodny, tabulky datových typů a popisu typů logických uzlů LN.

- Substation Configuration Description (SCD): Detailně popisuje energetický systém a skládá se z popisu jednotlivých IED, nastavení komunikačních protokolů a popisu rozvodny.

- Configured IED Description (CID): Je využíván pro komunikování dat a nastavení mezi jednotlivými IED a programovacím prostředím. Obsahuje taky konfiguraci IED, která obsahuje aktuální adresu IED. [4]

2.4 GOOSE komunikace

GOOSE je typ horizontální komunikace, což znamená, že se používá pro komunikaci pouze v rámci jedné úrovně, a ne pro komunikaci vertikálně v hierarchii. Před implementací GOOSE byla v rámci IEC 61850 využívána komunikace typu GSSE, která ale nebyla přímo spjatá s daným protokolem. V novější verzi protokolu se tedy ke komunikaci začala využívat právě komunikace GOOSE, která je více flexibilní. U této komunikace se využívají data setů jednotlivých LN. Pro zajištění spolehlivosti přenosu a dodržení časových linií využívá GOOSE mechanismus, který funguje na základě Ethernetové technologie multicast. V porovnání s běžnými MMS, má GOOSE dvě hlavní výhody, a to lepší časové linie a vyšší efektivitu. Ta může naplnit požadavky, které jsou stanoveny pro přenos informací mezi IED. Další možností je, že zároveň při vysílání vlastních dat je zařízení schopno přijímat data z více zařízení najednou, což umožňuje sdílení údajů o napětí, proudu a odpojovačích. [4]



Obrázek 2.8: Diagram intervalů přenosu zpráv GOOSE [3]

Intervaly přenosu záleží na momentálním stavu chráněné oblasti. Je-li oblast stabilní, pohybujeme se v intervalu T_0 . Pokud ovšem nastane jakákoli změna v datech, dojde k opakování přenosu okamžitě, bez ohledu na to, v jakém módu byla komunikace před tím, než došlo ke změně.

3 Specifikace zadání praktické části

3.1 Ochrana REF 615

Ochrany typu REF 615 jsou využívány jako vývodové ochrany, což označuje v názvu písmeno F (z anglického Feeder). Podle výrobního kódu ochrana může disponovat širokou škálou funkcí, na základě toho, co je pro realizaci daného projektu potřeba. Dělí se do základních konfigurací A, B, C, D, E, F, G (konfigurace pro použití se senzory místo měřících transformátorů proudu a napětí), H a J. Každá z těchto konfigurací má některé předdefinované funkce a další jsou pak volitelné podle toho, které funkce požadujeme, aby zařízení obsahovalo. Je tedy nutné zvolit vhodnou variantu, aby obsahovala jen funkce, které se v daném projektu dají využít, jinak zbytečně zvyšujeme náklady na zhotovení projektu. [2]

3.2 Zkušební model

Pro testování konfigurace ochrany a jejich komunikace bude využito dvou modelů firmy Q - ELEKTRIK a.s., které simulují rozvaděč vývodové kobky. Každá z kobek je vybavena dvěma odpojovači, jeden pro systém přípojníc A a druhý pro systém přípojníc B, které jsou označeny Q1 a Q2. Dále následuje výkonový vypínač označený QM, za kterým je vývod a uzemňovač označený QE. Model disponuje tlačítky pro ovládání jednotlivých prvků. Můžeme zapnout, vypnout nebo nastavit mezipolohu. Dále jsou na modelu přítomny výstupy z proudových a napěťových transformátorů, které je možné regulovat a v souladu s vhodnou konfigurací pak vytvářet simulované události, jako například zkraty nebo přetížení, následně pak reakci jedné ochrany na události v druhé, tudíž komunikaci. Poslední funkcí panelu jsou binární vstupy a výstupy. Binárními výstupy jsou označeny LED kontrolky, které signalizují binární výstupy ochrany, která je k nim připojena. Binárními vstupy jsou pak dvojpólové přepínače, které vysílají binární vstupy do ochrany.

3.3 Konfigurace ochrany

Pro obě ochrany je konfigurace stejná, liší se pouze v komunikaci a prioritě jednotlivých zařízení. Ochranné funkce používané v tomto projektu jsou nízký nadproudový stupeň, vyšší nadproudový stupeň a zkratový stupeň. Podle toho, který ze stupňů vybaví, můžeme upravovat reakci druhé ochrany, popřípadě můžeme nastavovat podmínky pro opětovné zapnutí, nebo přímo aplikovat automatiku opětovného zapnutí v případě některých funkcí, ta se však obvykle využívá u ochrany vedení. Ve většině případů se pro opětovné zapnutí vyžaduje resetování výstražných signalizací, čímž manipulant nebo operátor potvrzuje, že si je vědom, že na daném zařízení došlo k vypnutí působením dané ochranné funkce a nezapíná zařízení nahodile, což by mohlo způsobit jak škody, tak ohrožení lidských životů.

3.4 Blokovací podmínky

V každém provozu je nutné mít vhodně nastavené blokovací podmínky pro manipulace, aby nedocházelo k zakázaným manipulacím, které by mohly poškodit zdraví či majetek. Některé manipulace jsou závislé od stavby rozvodny, zda jsou vybaveny příčnými a podélnými spojkami přípojníc, popřípadě jestli jsou informace o jejich stavu komunikovány do ochrany. Rozlišujeme, zda se jedná o blokády v rámci kobky, rozvodny, případně mezi různými rozvodnami.

3.4.1 Blokovací podmínky vypínače

Vypínač je prvek, který má pouze blokovací podmínky zapnutí, nikoliv však vypnutí. Je to proto, že se jedná o část obvodu, která je určena k rozepínání pod zátěží i v případě poruchy, a právě v poruchovém stavu musí vždy vypnout. Je tedy nežádoucí jakýmkoliv způsobem blokovat schopnost vypnutí vypínače.

V případě, že žádná z kobek není v servisním režimu a v kobce SLAVE je navolená cesta na stejný systém přípojníc, dojde v návaznosti na sepnutí vypínače v kobce MASTER k okamžitému sepnutí vypínače i v kobce SLAVE.

V naší konfiguraci rozdělujeme u vypínače blokovací podmínky zapnutí na kobku a podmínky rozvodny vycházející z komunikace. V rámci kobky je blokováno zapnutí vypínače v případě, že není navolená cesta, tedy není sepnutý odpojovač na systém přípojníc A ani B. Další podmínkou je, že vývod nesmí mít uzemňovač v sepnutém stavu. Výjimkou je pouze stav, kdy je aktivovaný servisní režim, tedy vypínač je v servisní poloze, nikoliv zajištěný na různých nebo v mezipoloze. Tyto podmínky platí pro kobku chráněnou ochranou MASTER. Pro kobku chráněnou ochranou SLAVE jsou tyto podmínky rozšířeny ještě o blokády vycházející z komunikace. Znamená to blokování zapnutí vypínače v případě, že v obou kobkách nejsou sepnuty odpojovače na stejný systém přípojníc a také, pokud je sepnutý uzemňovač v druhé kobce.

V případě, že žádná z kobek není v servisním režimu, dojde 5000ms po vypnutí vypínače v kobce MASTER k vypnutí vypínače v kobce SLAVE.

3.4.2 Blokovací podmínky uzemňovače

Uzemňovač stejně jako vypínač nemá blokovací podmínku pro vypnutí. Jeho samotné vypnutí není ohrožující, ale v případě, že by se kladl důraz na bezpečnost, mohl by do ochrany být přivedený signál, který by například v případě prací na kobce zamezoval rozepnutí kontaktů uzemňovače. Blokáci pro sepnutí uzemňovače je, že vypínač je ve vypnuté poloze. Z nadřazené ochrany je vyvedený signál do ochrany SLAVE, který v případě, že dojde k sepnutí uzemňovače v nadřazené kobce, vypne pomocí vypínací logiky vypínač v kobce SLAVE a po 3000ms dojde k uzemnění vývodu i zde.

3.4.3 Blokovací podmínky odpojovačů

Tyto prvky jsou v tomto projektu jediné, které mají podmíněné jak rozepnutí, tak sepnutí svých kontaktů. Pro sepnutí jednotlivých odpojovačů je nutné, aby vypínač a odpojovač druhého

systému přípojníc byly ve vypnutém stavu. Sepnutí obou odpojovačů může být v určitých situacích povoleno, ale jen pokud je příčná spojka přípojníc v sepnutém stavu. Jelikož v našem projektu nemáme informaci o tom, v jakém stavu se spojka nachází, je tato operace zakázaná v jakémkoliv případě.

Pro povolení rozepnutí kontaktů odpojovače je podmínkou pouze to, že vypínač musí být ve vypnutém stavu. Je to proto, že odpojovače nejsou dimenzovány na vypínání pod zátěží, vývodem tedy nesmí téct žádný proud, aby bylo možné odpojovače rozpojit.

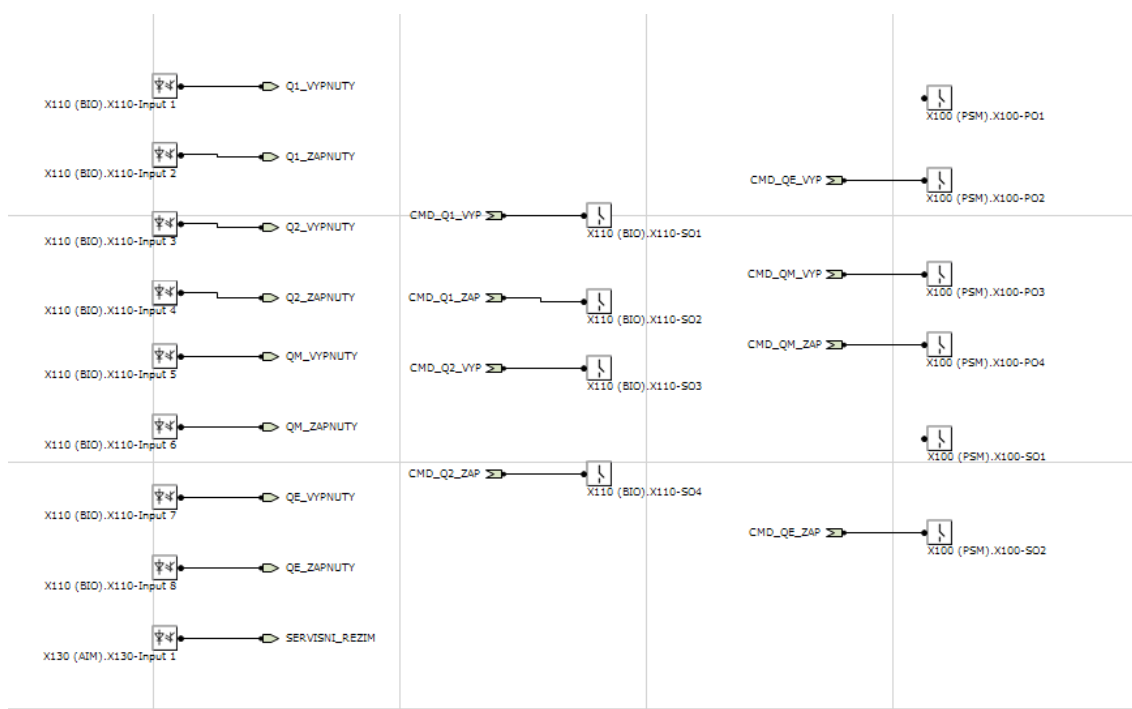
4 Konfigurace ochran

Pro obě ochrany bude základní konfigurace identická, protože se jedná o stejné modely a stejné aplikace. Změny budou v parametrech, nastavení vzájemných blokad a v komunikaci. V obecném popisu bude zobrazená konfigurace ochrany, která je označená MASTER. Konfigurace je pro přehlednost a strukturalizaci rozdělená do dvanácti záložek Info, General, I_O, Measurement, Control_Interlocking, Protection, Supervision, Logic, Disturbance_Recorder, LED a Communication.

4.1 Konfigurace ochrany MASTER

Info je stránka, na které se uvádí čistě informativní věci, jako jméno autora konfigurace, název projektu, případně další informace ohledně místa, kde je ochrana instalována, parametry nastavení jednotlivých funkcí nebo jiné důležité informace ke konfiguraci.

General obsahuje nastavení obecných funkcí, například vytvoření logické jedničky a nuly nebo vnitřních signálů, jako třeba reset, který je využíván k resetování výstrah a blokad pro zapnutí.



Obrázek 4.1: Konfigurace vstupů a výstupů

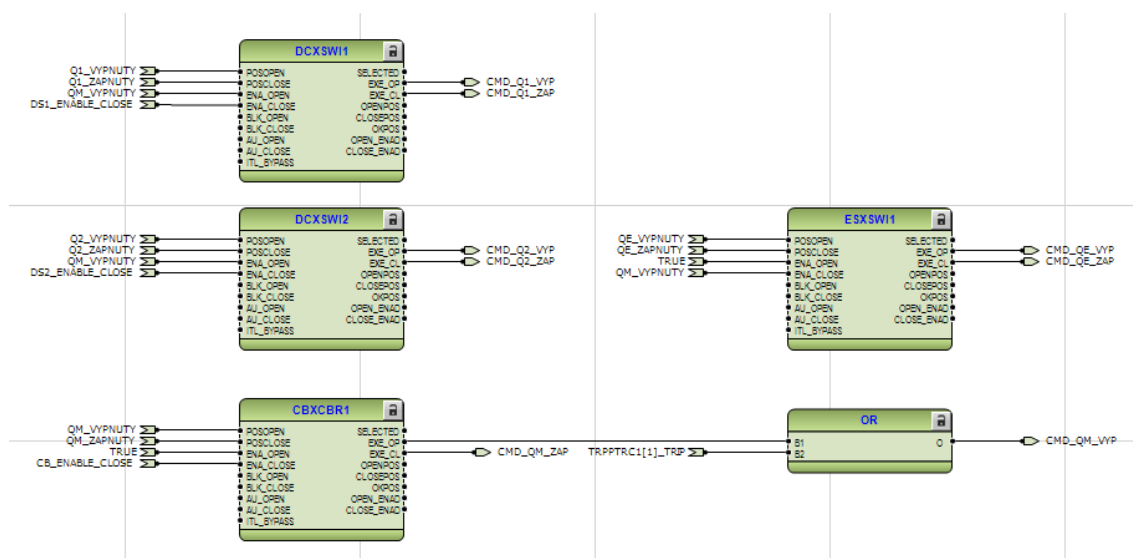
I_O je list určený pro nastavení vstupů a výstupů ochrany. Rozděleny jsou podle funkce a podle svorkovnice, na které jsou umístěny fyzické kontakty těchto portů.

Úplně vlevo je svorkovnice X110, na které jsou přivedeny všechny binární vstupy. Ty poskytují zpětnou vazbu o stavu odpojovačů, vypínače a uzemňovače. Pro každý prvek je nutné

používat dva signály, zapnuto a vypnuto. Je to z důvodu bezpečnosti, protože v případě, že nedojde k dosažení koncové polohy, případně ochrana nemá informaci o stavu vypínače, musí být zabráněno nahodilé manipulaci. V reálné aplikaci mají vypínače navíc signalizaci polohy vozíku, která je také provedena pomocí dvou signálů. Ty udávají, jestli je vozík v revizní poloze, plně zajištěný na různých nebo v mezipoloze, ve které opět musí být zamezeno zapnutí vypínače. Zbytek svorkovnice X110 jsou výstupy SO, což znamená Signal Output, tedy výstup pro běžné operace. Tyto výstupy jsou využity pro ovládání odpojovačů. Ze svorkovnice X100 jsou pak využity výstupy SO pro ovládání odpojovače a PO, což je Power Output, tedy silový výstup, který je vhodný pro ovládání vypínače, u něhož se při vypnutí požaduje co nejvyšší rychlost a jistota vypnutí.

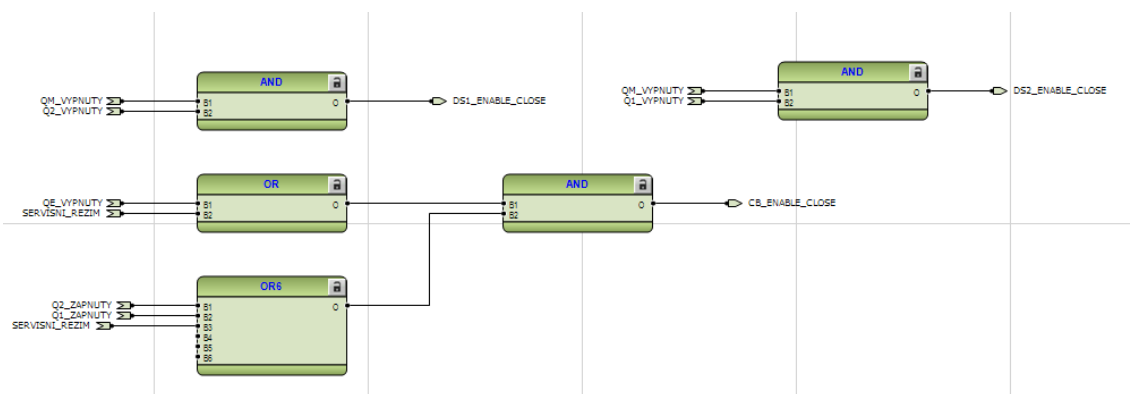
Na listu Measurement jsou pouze bloky měření proudu a napětí, které mohou v případě potřeby signalizovat překročení určitých hranic napětí nebo proudu.

Control_Interlocking obsahuje konfiguraci interních blokad pro jednotlivé prvky a také ovládání zapnutí a vypnutí.



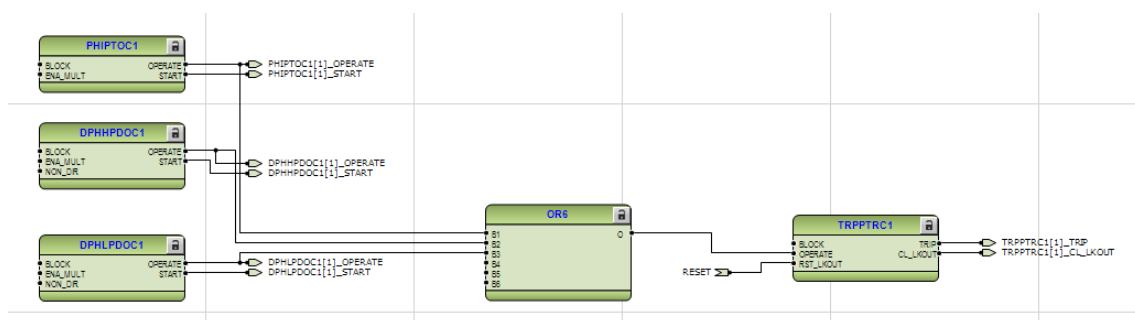
Obrázek 4.2 Konfigurace ovládacích bloků

Bloky DCXSW1 a DCXSW2 slouží k ovládání odpojovačů. První dva signály jsou zpětná vazba z koncových spínačů odpojovače a signalizují jejich stav. Další signály jsou povolení vypnutí a zapnutí. Výstupní signály jsou pak příkazy pro sepnutí nebo rozepnutí jednotlivých prvků. Blok ESXSW1 je blok ovládání uzemňovače a má stejně uspořádané vstupy a výstupy jako bloky pro odpojovače. Blok CBXCBR1 je blok vypínače se stejnými vstupy jako předchozí bloky, jen u vypínacího příkazu je přidán člen OR, do kterého vstupuje také výstup z centrálního vypínacího bloku pro vypínač.



Obrázek 4.3: Logika interních bloků

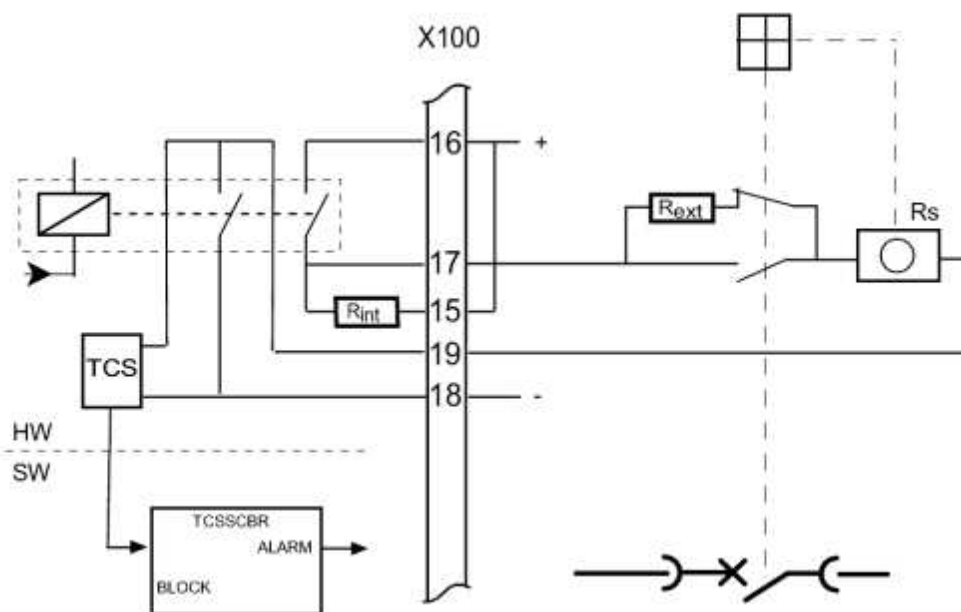
Následuje list Protection, který obsahuje konfiguraci všech ochranných funkcí.



Obrázek 4.4: Konfigurace ochranných funkcí

Bloky vlevo reprezentují jednotlivé stupně nadproudových ochran. Na vstupu je možné nastavit blokování, aktivaci multiplikátoru úrovně vypínacího proudu nebo v případě směrových ochran signál pro deaktivaci směrové funkce. Na výstupní straně jsou signály operate a start. Start signalizuje rozběh ochranné funkce a operate její vybavení. Signál operate je vyveden na funkci OR a poté na blok TRPPTRC1, který je centrálním vypínacím blokem. Krom signálu z ochranných funkcí je zde také přiveden interní signál RESET, který slouží k odblokování ovládání vypínače. Na výstupu je pak vypínací signál a signál blokování ovládání.

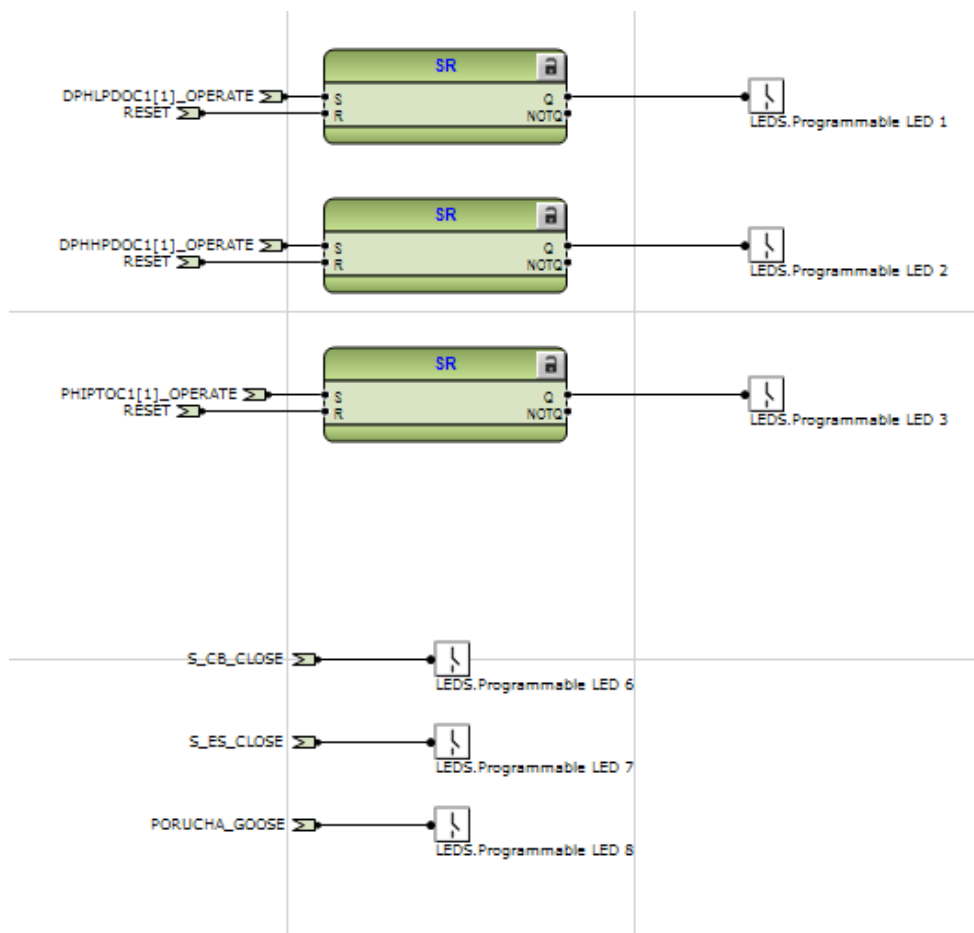
Supervision obsahuje v případě této konfigurace pouze blok TCSSCBR1, který slouží pro hlídání celistvosti vypínací cesty. Vysílá přes vypínací cestu malý proud, a pokud je obvod uzavřený, je vyhodnocen jako správný, v případě jakékoliv poruchy vypínacího obvodu dojde k signalizaci.



Obrázek 4.5: Schéma funkce kontroly vypínací cesty

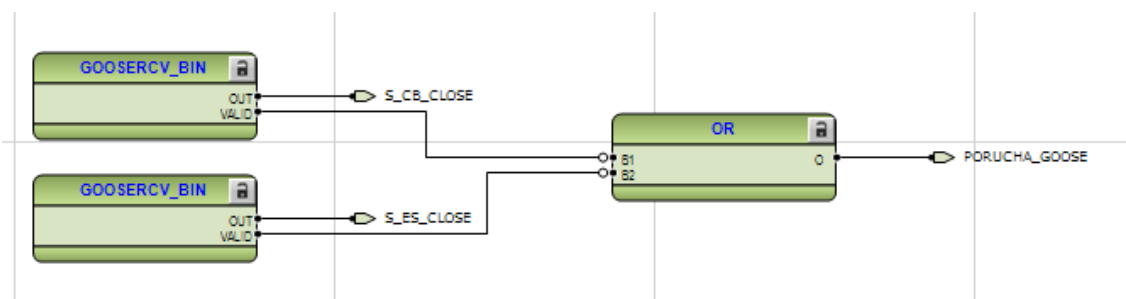
List Disturbance_Recorder obsahuje blok, který zapisuje všechny signály, které jsou přivedeny na jeho vstup.

LED obsahuje pouze přiřazení signálu pro jednotlivé led, popřípadě jejich logiku. LED označené 1 až 3 jsou pro zobrazení ochranné funkce, která naposledy vybavila. Signály jsou přes SR bloky vedené proto, aby při vypnutí impuls LED rozsvítil a k jejímu zhasnutí došlo až po manuálním resetu. LED 6 a 7 slouží jako zpětná vazba sepnutí vypínače a uzemňovače v druhé kobce a LED 8 signalizuje poruchu komunikace GOOSE. U této verze ochran bohužel není možné LED rozsvítit v jiné barvě než červené. Diody sice touto možností disponují, ale v konfiguraci jako takové to umožněno není. U novějších verzí lze na LED přivést dva signály. Jedna LED by pak mohla signalizovat stav zapnuto, vypnuto, a v případě jejího nerozsvícení absenci informace o stavu daného prvku. V této konfiguraci ale svítí pouze v případě, že vypínač nebo uzemňovač jsou v sepnutém stavu a LED, která nesvítí, signalizuje stav vypnutý, popřípadě mezipolohu.



Obrázek 4.6: Přiřazení signálu pro LED

V případě ochrany MASTER list Communication obsahuje pouze bloky zpětné vazby, které byly zmíněny v popisu LED signalizace. První blok má v komunikaci přiřazený signál zapnuté pozice vypínače v kobce ochrany SLAVE a druhý blok pak signál sepnuté polohy uzemňovače. Výstupní signál VALID označuje kvalitu příchozího signálu a pokud je v logické 1, tak komunikace GOOSE pro tento signál funguje dobře. Pokud by nastala porucha, došlo by k signalizaci. V případě této ochrany nemá signalizace poruchy GOOSE vliv na ovládání kobky.

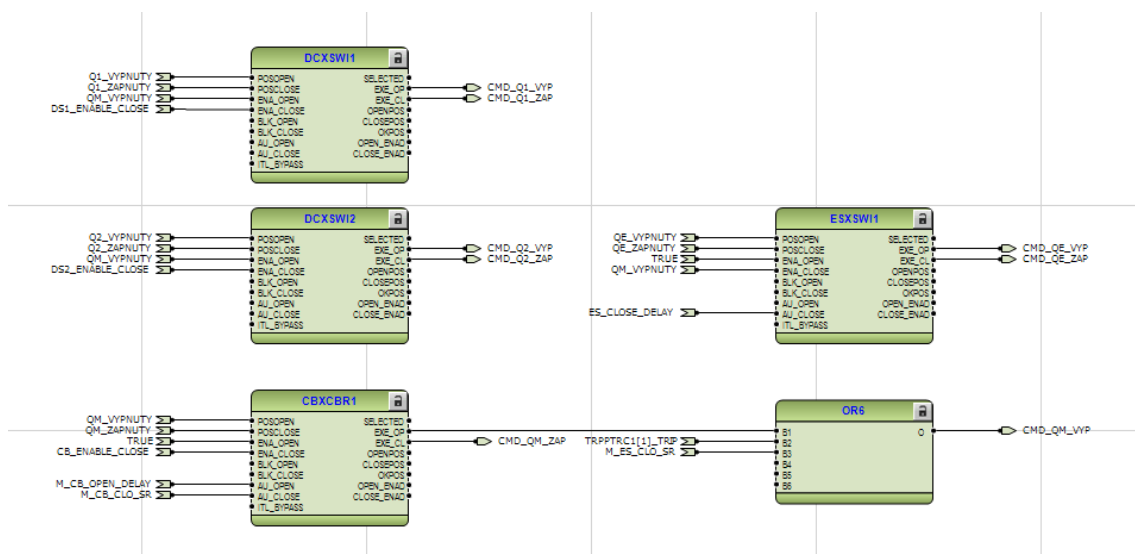


Obrázek 4.7: Bloky komunikace v ochraně MASTER

4.2 Konfigurace ochrany SLAVE

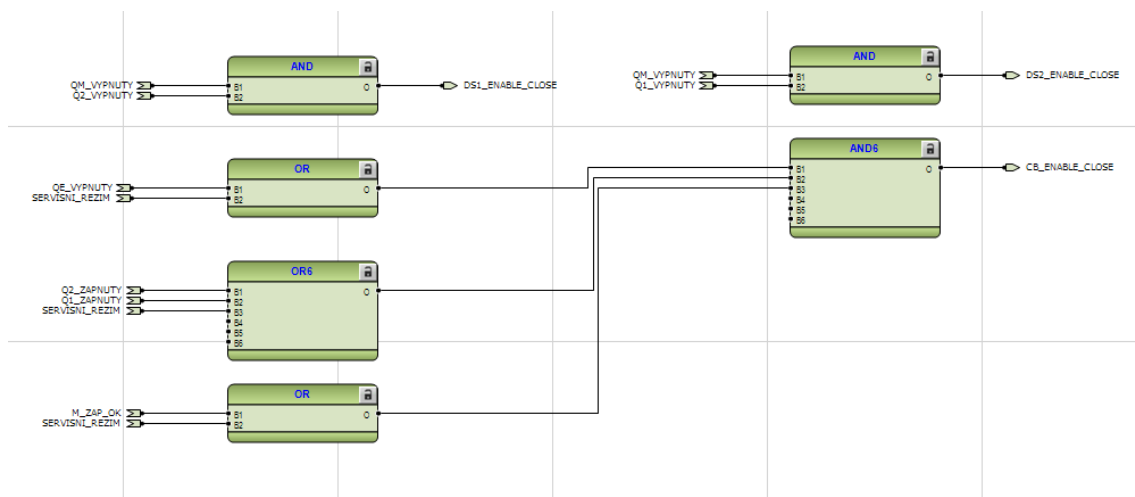
Jak již bylo zmíněno na začátku předchozího bodu, jádra konfigurací ochran jsou totožná, obsluhují paralelní kobky a největší rozdíly v jejich konfiguracích jsou na listech Control_Interlocking, Logic a Communication.

Na listu s konfigurací ovládacích a blokovacích podmínek je interní konfigurace stejná, ale je rozšířená o blokovací podmínky z nadřazené ochrany. Signály, které jsou na začátku označeny písmenem M přicházejí z MASTER ochrany přes GOOSE komunikaci.



Obrázek 4.8: Bloky ovládání v ochraně SLAVE

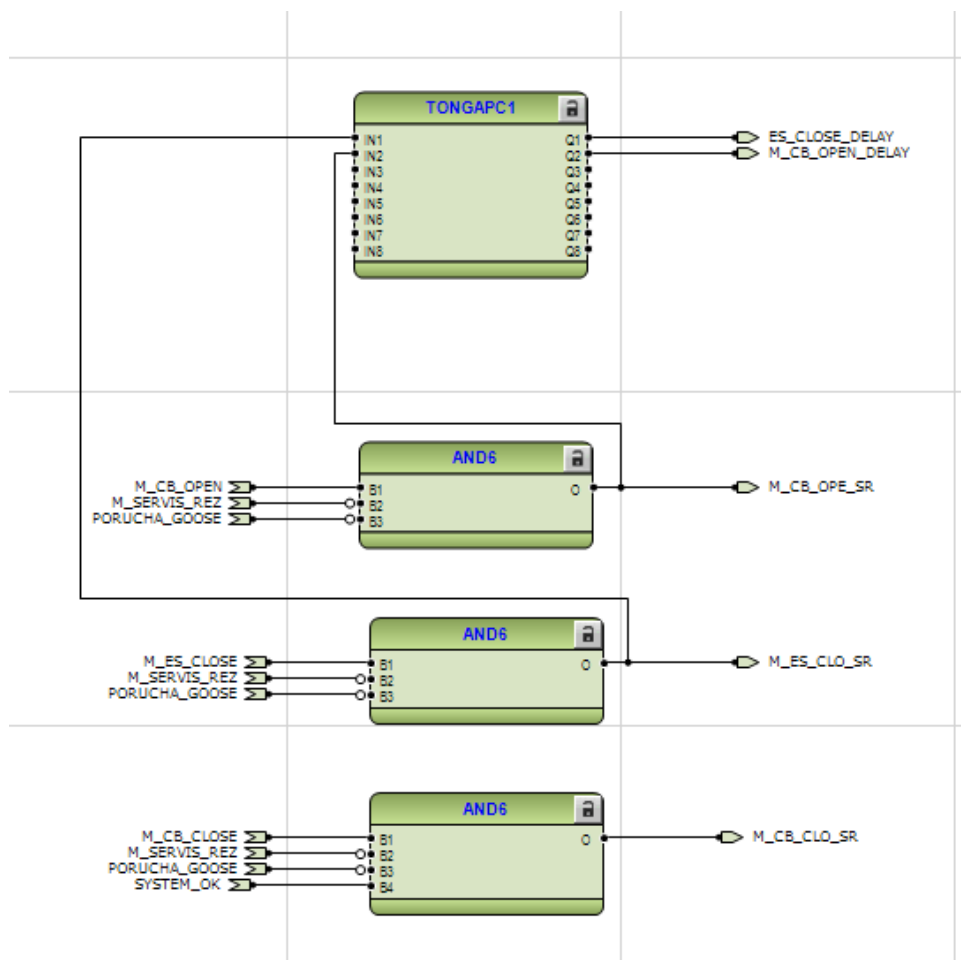
Zde je patrná změna u bloků CBXCBR1 a ESXSWI1, kde jsou v tomto případě využity vstupy AU_CLOSE a AU_OPEN, což jsou signály pro zapnutí a vypnutí. Samotné bloky mají totiž pro ovládání z jednopólového schématu ochrany přiřazeny vnitřní signály, které není nutno přivádět na bloky. Signál M_ES_CLO_SR je přiřazen až do konečné vypínací logiky, protože se jedná o poruchový stav a musí být zajištěno co nejrychlejší vypnutí. Původ všech signálů bude vysvětlen v dalších odstavcích.



Obrázek 4.9: Podmínky zapnutí vypínače

Horní bloky AND slouží jako podmínky pro povolení sepnutí jednotlivých odpojovačů. Pro jejich sepnutí je nutné, aby byl vypínač ve vypnutém stavu a druhý odpojovač taktéž. V předchozím obrázku jak u ochrany MASTER, tak u ochrany SLAVE je na odpojovač také přiveden signál pro povolení zapnutí, což je signalizace vypnutého stavu vypínače. Signál pro povolení zapnutí vypínače je složitější, protože se zde uvažují i blokovací podmínky, které jsou přivedené po komunikaci. První blok OR se dvěma vstupy zahrnuje podmínku vypnutého uzemňovače, nebo aktivaci servisního režimu, což by mohla být například signalizace vyjetí vozíku vypínače do revizní polohy, kdy je požadováno umožnění změny polohy kontaktů vypínače v případě nesplněných podmínek zapnutí. Další blok OR bere v potaz, jestli je navolená cesta, tedy je-li jeden z odpojovačů v sepnutém stavu nebo jako v předchozím případě, zda-li je aktivován servisní režim. Poslední blok OR obsahuje podmínku z komunikace, která bude popsána v následujícím odstavci a také může být deaktivována servisním režimem. Pro zapnutí vypínače v kobce chráněné ochranou B musí být splněny všechny tři podmínky, aby bylo povoleno zapnutí vypínače v provozní poloze.

List LOGIC byl u ochrany MASTER vynechán, protože nic neobsahoval. Je zde sestavena logika blokování a zpoždování signálů, vycházejících z komunikace.



Obrázek 4.10: Konfigurace manipulačních povelů a zpoždění

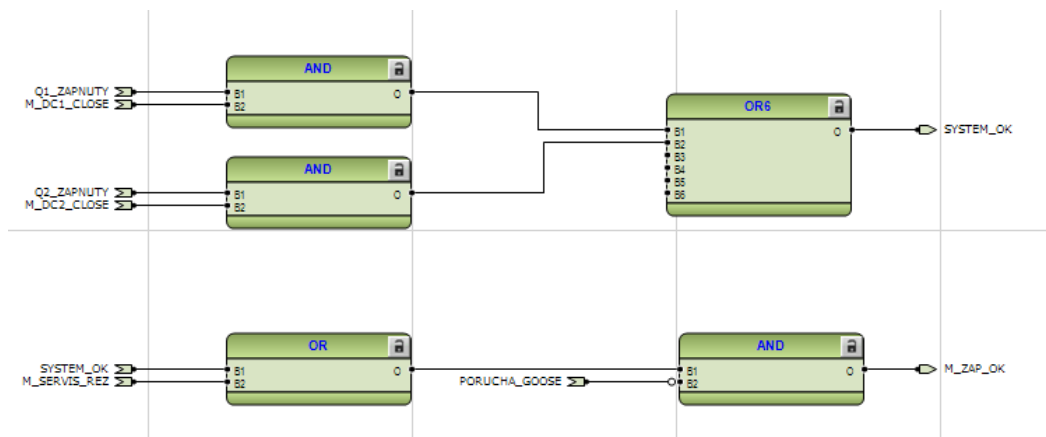
Blok TONGAPC1 slouží jako zpožďovač při aktivaci signálu, a protože máme přivedenou zvlášť signalizaci zapnutého i vypnutého stavu, nepotřebujeme využívat zpožďovací člen vypínací. Samotný čas zpoždění se nastavuje v parametrizaci, kde pro povel ES_CLOSE_DELAY, který slouží k zapnutí uzemňovače, je nastavena hodnota 3000 ms, a pro signál M_CB_OPEN_DELAY, který slouží k vypnutí vypínače, hodnota 5000 ms.

✓	TONGAPC1: 1				
✓	TONGAPC1				
✓	On delay time 1	3000	ms	0	3600000
✓	On delay time 2	5000	ms	0	3600000

Obrázek 4.11: Ukázka nastavení parametrů zpožďovače

Následující členy AND jsou blokační podmínky vycházející z komunikace. První blok je pro vypínací povel vypínače. Na jeho vstup je přiveden signál zapnutí z ochrany MASTER, dále pak negovaný signál servisního režimu v nadřazené ochraně, a jako poslední signalizace poruchy zpráv GOOSE. V případě, že dojde k poruše jakékoli části komunikace, nesmí ochrana provádět

operace vycházející z dané komunikace. Následující blok obsahuje stejné podmínky, ale slouží pro zapnutí uzemňovače. Poslední z bloků je složitější, protože slouží pro zapnutí vypínače. První tři signály bloku jsou obdobné jako u předchozích, ale je rozšířen o signál SYSTEM_OK, který bude popsán u následujícího obrázku.



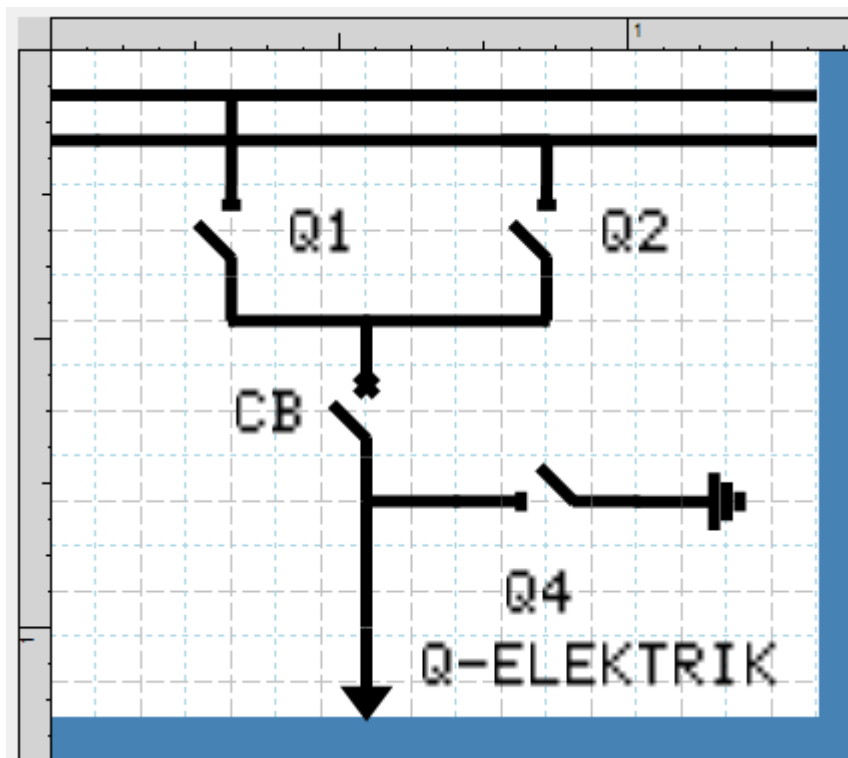
Obrázek 4.12: Druhá část konfigurace logiky

První dva bloky AND porovnávají stavy odpojovačů v obou kobkách. K sepnutí vypínače v důsledku komunikace v kobce chráněné ochranou SLAVE může dojít pouze v případě, jsou-li obě kobky připojeny na stejný systém přípojníc. Pokud je tedy jedna z podmínek splněna, bude zapnutí z tohoto hlediska povoleno. Tento signál je však možno vyřadit, pokud v ochraně MASTER dojde k aktivování servisního režimu. V takovém případě ale musí být zároveň splněna podmínka, že funguje komunikace GOOSE. Finálním signálem pro povolení zapnutí v důsledku komunikace je tedy signál M_ZAP_OK.

List Communication je zde podstatně rozsáhlejší než u konfigurace ochrany MASTER, protože dochází k přijímání většího počtu signálů než u nadřazené ochrany.

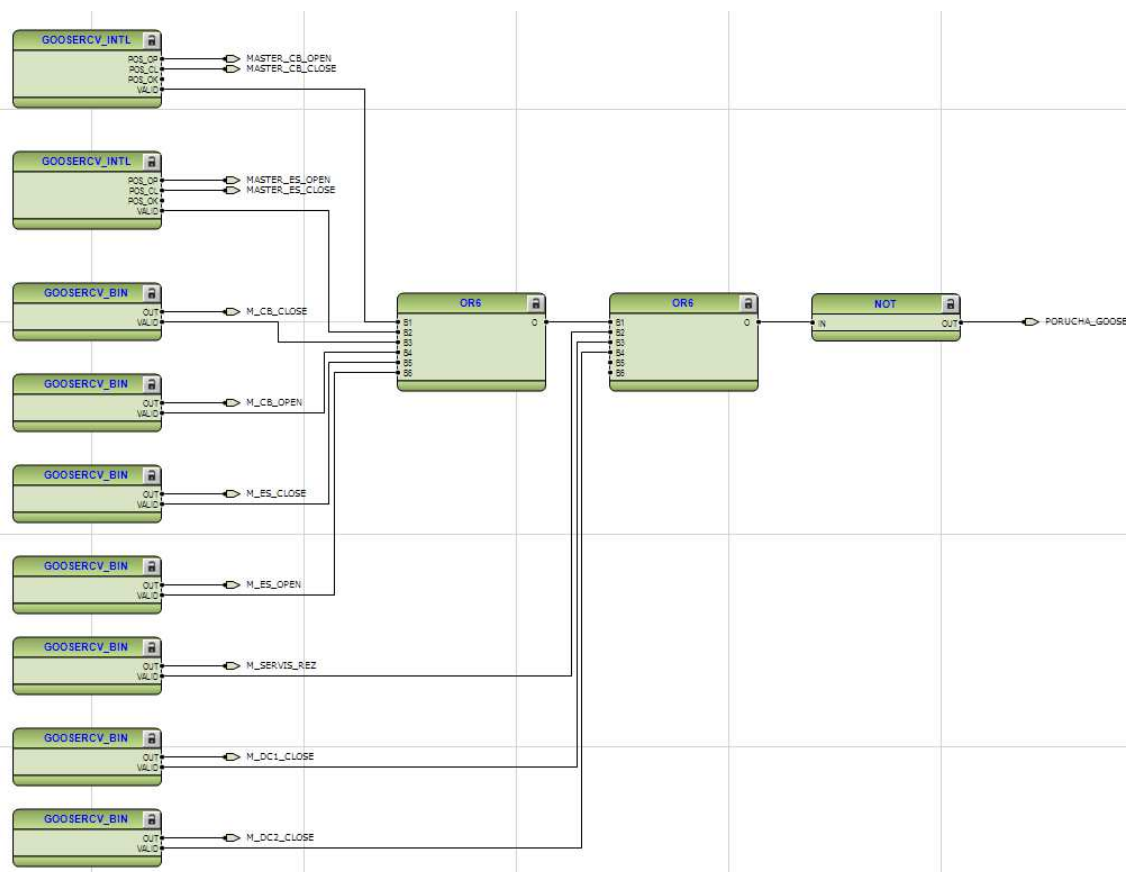
4.3 Jednopolové schéma

Pro ovládání kobky z ochrany se využívá jednopolového schématu, který je také označován jako SLD tedy Single Line Diagram. Pomocí editoru v prostředí PCM600 je možné vytvářet tyto schémata a dodávat k nim také měřené hodnoty, popřípadě vytvářet virtuální tlačítka pro reset a podobně. U některých verzí prostředí PCM600 je sestavování těchto schémat problematické, protože po nahrání grafického souboru do ochrany dochází k jeho částečným porušením nebo k celkovému rozpadu. Je tedy nutné dávat si u sestavování těchto vyobrazení pozor na konstrukci všech spojů.



Obrázek 4.13: Jednopolové schéma v prostředí PCM600

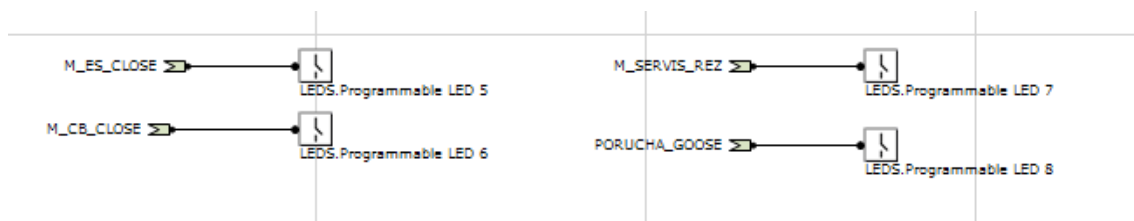
Jednotlivé prvky použité ve schématu mají přiřazené signály korespondující s kontrolními bloky. Pro Q1 a Q2 je to DCXSW1 a DCXSW2 a po jejich označení lze pomocí ochrany ovládat zapnutí a vypnutí těchto prvků. Po dosažení koncové polohy a získání signálu zpětné vazby dojde také ke změně vyobrazeného prvku. U odpojovače jsou to stavy zapnuto, vypnuto a mezipoloha. Vypínač je navedený na kontrolní blok CBXCBR1 a v případě nastavení může mimo stavy zapnuto, vypnuto a mezipoloha také zobrazovat stav vozíku vypínače, a to zajeto, vyjeto a mezipoloha, což je u vypínačů s vozíkem velmi důležité, jelikož se podle toho určují blokovací podmínky. Poslední prvek, uzemňovač, je naveden na signály kontrolního bloku ESXSW1 a dosahuje stavů zapnuto, vypnuto a mezipoloha.



Obrázek 4.14: Konfigurace komunikace ochrany SLAVE

Na tomto listu jsou všechny bloky přijímaných informací z ochrany MASTER. První dva bloky jsou přivedeny pouze pro porovnání. Je to dvou-stavová komunikace pro stav vypínače a odpojovače. Všechny přivedené signály mohou mít přiveden i signál o kvalitě, což v našem případě mají všechny. Dále jsou svedeny na bloky OR. Pokud by u jakéhokoliv z nich došlo k narušení kvality komunikace, dojde k signalizaci poruchy GOOSE a také k zablokování operací v důsledku komunikace. Ostatní bloky označené GOOSERCV_BIN jsou bloky pro přijímání binárních signálů. Ty jsou dále využívány pro logiku a ovládání ochrany. První pár jsou signály ovládání vypínače, druhý pár jsou signály ovládání uzemňovače, další v pořadí je signalizace aktivace servisního režimu v nadřazené ochraně, a poslední pár je signalizace zapnutého stavu odpojovačů v kobce chráněné ochranou MASTER. Další část konfigurace komunikace bude probírána v následných bodech práce.

Poslední drobnou změnou v konfiguraci je nastavení signalizace LED, kde je u ochrany SLAVE rozšířena o signalizaci zapnutí vypínače a odpojovače v nadřazené ochraně, a také o aktivaci servisního režimu.



Obrázek 4.15: Konfigurace LED ochrany SLAVE

4.4 Konfigurace komunikace GOOSE

Jak již bylo popsáno v úvodu, jedná se o komunikaci horizontální, která funguje na bázi vydavatel-odběratel, tudíž jednotlivé ochrany musí mít nastaveny, co vysílají a kdo informace může přijímat a dále také, které z položek, které jsou jim z ostatních ochran vysílány, budou přijímat a zpracovávat.

4.4.1 Ochrana MASTER

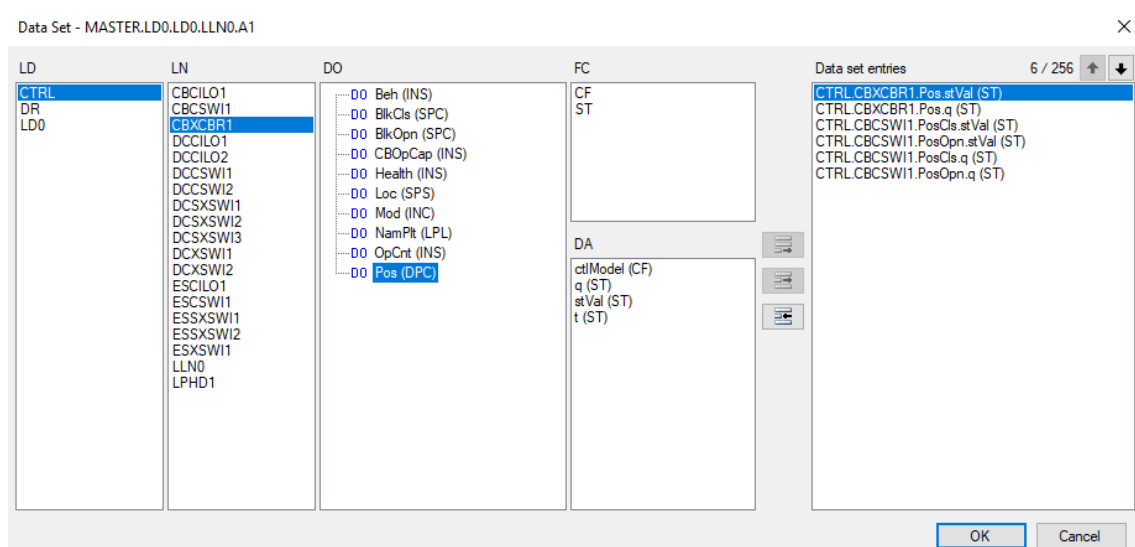
Tato ochrana vysílá podstatně více dat než ochrana SLAVE, protože právě ta je ovlivňována událostmi, které vznikají v ochraně MASTER. Pro přehlednost a strukturalizaci komunikace vysílá ochrana všechny požadované informace rozdělené do čtyř data setů, které obsahují informace o jednotlivých prvcích.

	MASTER (LD0)	SLAVE (LD0)
MASTER.LD0.LD0.LLN0.A1	<input checked="" type="checkbox"/>	
MASTER.LD0.LD0.LLN0.A2	<input checked="" type="checkbox"/>	
MASTER.LD0.LD0.LLN0.A3	<input checked="" type="checkbox"/>	
MASTER.LD0.LD0.LLN0.A4	<input checked="" type="checkbox"/>	

Obrázek 4.16: Nastavení data setů ochrany MASTER

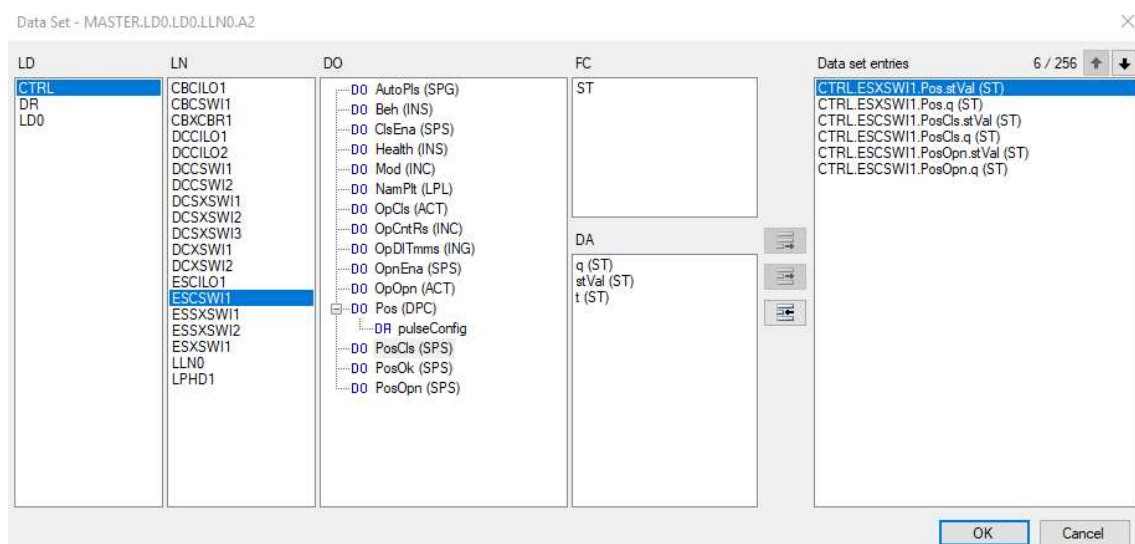
Vzhledem k tomu, že máme propojeny pouze dvě ochrany, je logické, že všechny vytvořené data sety budou komunikovány druhé ochraně. Co je obsahem jednotlivých data setů je věcí technika, který komunikaci nastavuje nebo podle zadání objednatele.

V následujících obrázcích bude popsán obsah jednotlivých data setů a typ signálu, jaký je vysílán.



Obrázek 4.17: Nastavení data setu A1

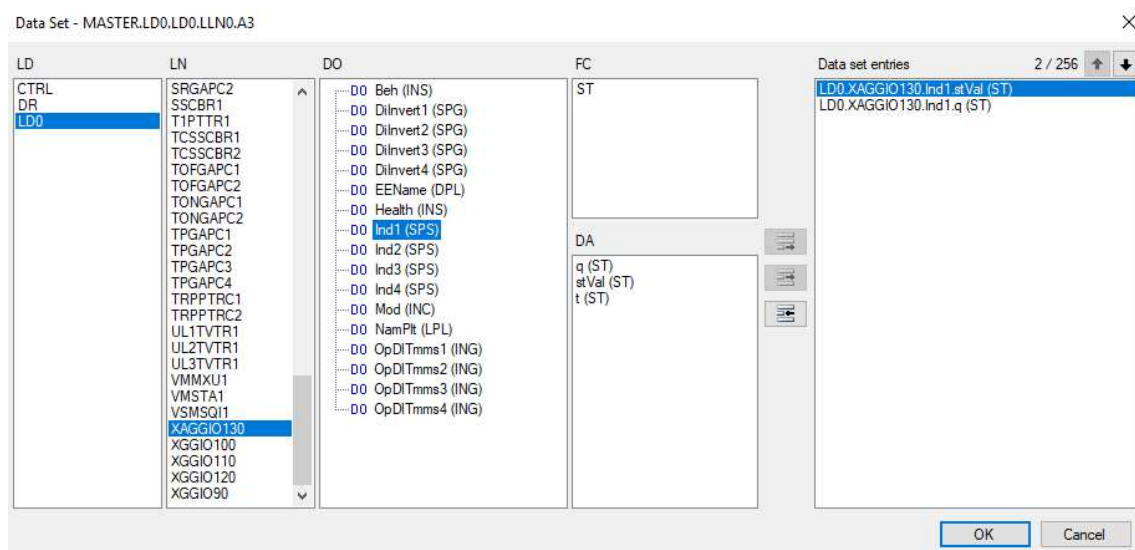
V data setu A1 se nacházejí údaje o stavu vypínače v kobce chráněné ochranou MASTER. Signál CTRL.CBXCBR1.Pos.stVal (stVal znamená state value, tedy stavovou veličinu) je dvoustavový signál, který obsahuje jak signalizaci vypnutého, tak sepnutého stavu. K němu je také přiřazen signál CTRL.CBXCBR1.Pos.q, který signalizuje kvalitu signálu. Signály CTRL.CBCSWI1.PosCls.stVal a CTRL.CBCSWI1.PosOpn.stVal jsou taktéž signály stavu vypínače, ale binární. Signál Cls tedy signalizuje sepnutou polohu vypínače a signál Opn jeho rozepnutou polohu. Stejnojmenné signály označené q jsou opět signály kvality komunikace tohoto signálu.



Obrázek 4.18: Nastavení data setu A2

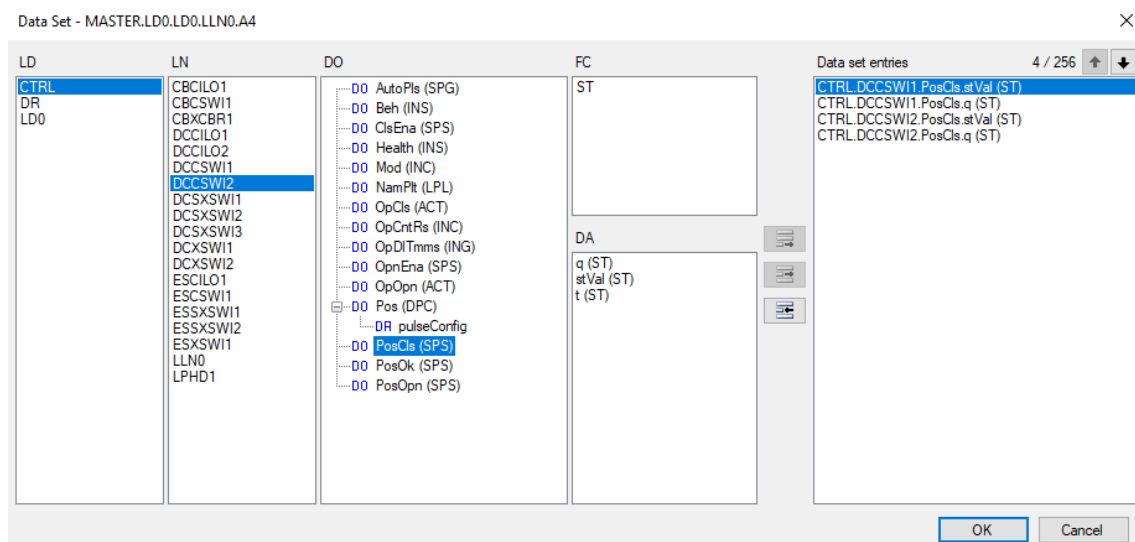
Data set označený A2, je, co se typů signálů týče, totožný s data setem A1, ale obsahuje informace o stavu uzemňovače v ochraně MASTER. Opět zde máme mimo binární signály i

dvou-stavovou signalizaci polohy. Všechny tyto signály budou porovnány ve výsledném zhodnocení komunikace.



Obrázek 4.19: Nastavení data setu A3

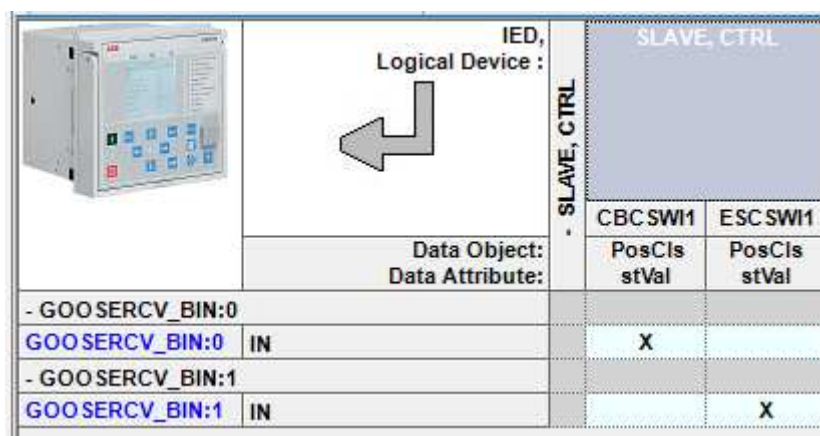
Tento data set je od předchozích odlišný. V předchozích případech byly hodnoty komunikované stavové veličiny brány zpod adresáře CTRL (control), ale hodnoty data setu A3 jsou získávány z LD0, tedy přímo z přístrojových signálů. V tomto případě se jedná o binární vstup na svorkovnici X130, který signalizuje aktivaci servisního režimu.



Obrázek 4.20: Nastavení data setu A4

Poslední data set vysílaný ochranou MASTER obsahuje signalizaci zapnutého stavu odpojovačů 1, 2 a také kvalitu komunikace.

Kromě vysílaných dat ochrana MASTER také přijímá informace o sepnutém stavu vypínače a uzemňovače v kobce chráněné ochranou SLAVE. Tyto signály musí být přiřazeny jednotlivým blokům pro příjem binárních signálů GOOSERCV_BIN na listu Communication.

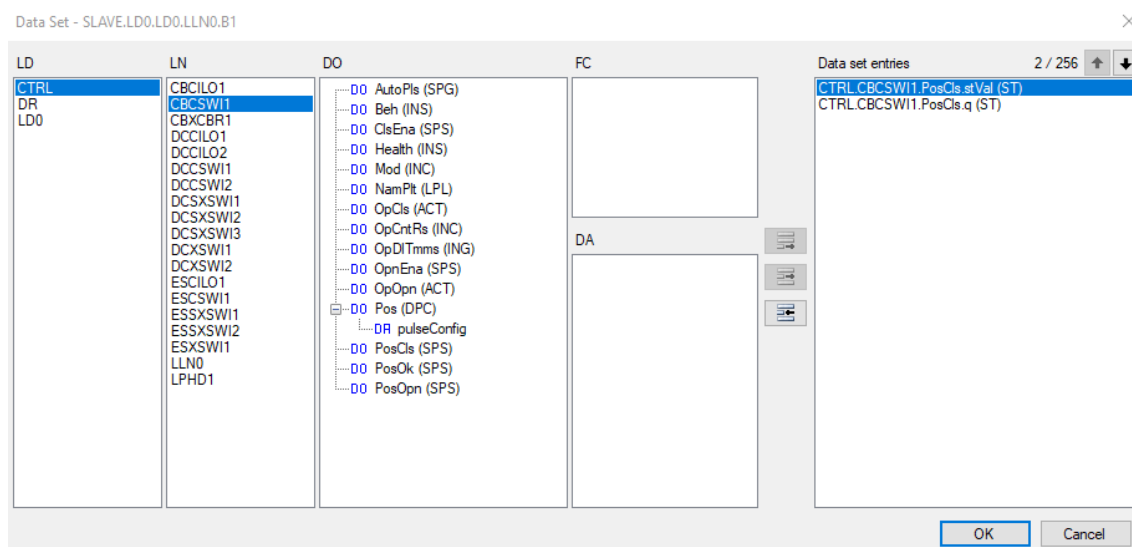


IED, Logical Device :		SLAVE, CTRL	
Data Object: Data Attribute:		CBCSWI1 PosCls stVal	ESCSWI1 PosCls stVal
- GOOSERCV_BIN:0			
GOOSERCV_BIN:0	IN	X	
- GOOSERCV_BIN:1			
GOOSERCV_BIN:1	IN		X

Obrázek 4.21: GOOSE zprávy přijímané ochranou MASTER

4.4.2 Ochrana SLAVE

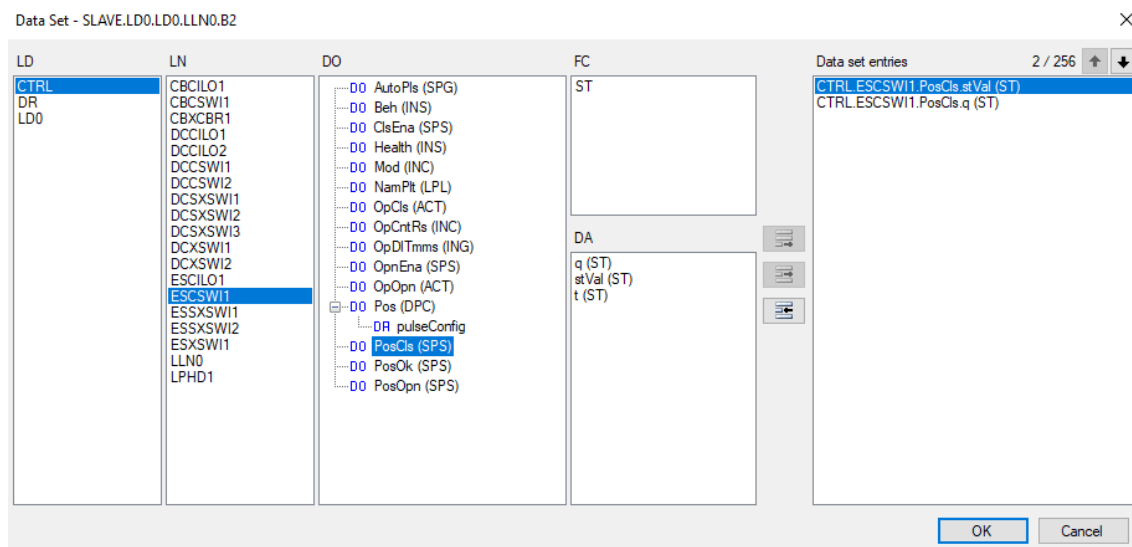
U ochrany SLAVE je to s nastavením komunikace naopak. Vysílány jsou pouze dva data sety, které slouží jako zpětná vazba pro ochranu MASTER a také jako možnost sledování komunikace GOOSE přes PC rozhraní.



LD	LN	DO	FC	Data set entries
CTRL	CBCI01	-DO AutoFls (SPG)		CTRL.CBCSWI1.PosCls.stVal (ST)
DR	CBCSWI1	-DO Beh (INS)		CTRL.CBCSWI1.PosCls.q (ST)
LD0	CBXCBR1	-DO ClsEna (SPS)		
	DCCI01	-DO Health (INS)		
	DCCI02	-DO Mod (INC)		
	DCCSWI1	-DO NamPlt (LPL)		
	DCCSWI2	-DO OpCls (ACT)		
	DCXSWI1	-DO OpCntRs (INC)		
	DCXSWI2	-DO OpDITms (ING)		
	DCXSWI3	-DO OpnEna (SPS)		
	DCXSWI1	-DO OpnEna (ACT)		
	DCXSWI2	-DO Pos (DPC)		
	ESCI01	-DR pulseConfig		
	ESSXSWI1	-DO PosCls (SPS)		
	ESSXSWI2	-DO PosOk (SPS)		
	ESXSWI1	-DO PosOpn (SPS)		
	LLN0			
	LPHD1			

Obrázek 4.22: Nastavení data setu B1

Data set B1 obsahuje pouze signalizaci zapnutého stavu vypínače v kobce chráněné ochranou SLAVE a jeho kvalitu.



Obrázek 4.23: Nastavení data setu B2

Data set B2 je sestaven téměř stejně jako B1, ale obsahuje informace o uzemňovači kobky ochrany SLAVE.

U nastavení přijímaných dat v Signal Matrix je to u této ochrany mírně složitější, jelikož místo dvou binárních signálů přijímáme sedm a k tomu dva více stavové.

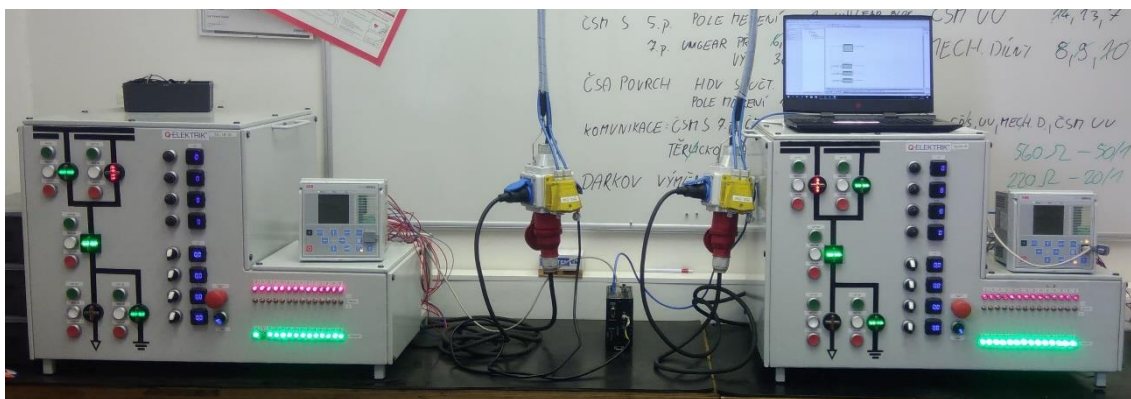
IED, Logical Device :		MASTER, LD0		MASTER, CTRL						
Data Object:		XAGGIO130								
Data Attribute:		Ind1 stVal								
				PosCls stVal	PosOpn stVal	Pos stVal	PosCls stVal	PosCls stVal	PosCls stVal	Pos stVal
- GOOSERCV_BIN:0										
GOOSERCV_BIN:0	IN			X						
- GOOSERCV_BIN:1										
GOOSERCV_BIN:1	IN				X					
- GOOSERCV_BIN:2										
GOOSERCV_BIN:2	IN							X		
- GOOSERCV_BIN:3										
GOOSERCV_BIN:3	IN								X	
- GOOSERCV_BIN:4										
GOOSERCV_BIN:4	IN		X							
- GOOSERCV_BIN:5										
GOOSERCV_BIN:5	IN						X			
- GOOSERCV_BIN:6										
GOOSERCV_BIN:6	IN							X		
- GOOSERCV_INTL:0										
GOOSERCV_INTL:0	IN					X				
- GOOSERCV_INTL:1										
GOOSERCV_INTL:1	IN									X

Obrázek 4.24: Nastavení Signal-Matrix ochrany SLAVE

Na tomto obrázku jde vidět přidělení jednotlivých signálů k blokům GOOSERCV_BIN nebo INTL, které korespondují s jejich rozložením na listě Communication v konfiguraci ochrany SLAVE. Je zde také vidět rozdělení signálů do LD0 a CTRL bloků, které komunikaci rozdělují a ulehčují orientaci. V tomto případě to není až tak markantní, ale ve složitějších aplikacích je to potřebné.

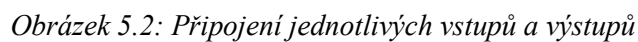
5 Realizace modelu a vyhodnocení

Pro otestování konfigurace ochran a jejich komunikace byly použity dva testovací modely vytvořené firmou Q - ELEKTRIK a.s. Ke každému z nich byla připojena ochrana typu REF 615. Mezi zkušebními modely ani mezi ochranami nebyla realizována žádná propojení, pouze pomocí ethernetového kabelu. Pro samotnou komunikaci mezi dvěma ochranami by dostačoval pouze propoj pomocí tohoto kabelu, ale vzhledem k tomu, že v daném případě bylo potřebné komunikaci monitorovat, musel být použit průmyslový switch, který umožnil do komunikace připojit i monitorovací zařízení, v našem případě počítač.



Obrázek 5.1: Zapojení modelů

V této konfiguraci nebyl využíván vývodový odpojovač, který model obsahuje, byl tedy uveden do revizní polohy a nebyl v projektu nikde uvažován. Oba panely jsou zapojeny do sítě pomocí jednofázové zásuvky, která slouží pro ovládací obvody, a také pomocí třífázové zásuvky, která slouží pro napájení měřících obvodů. V našem případě je podstatná ovládací část, ale měřící obvody ochrany byly také otestovány.



Svorkovnice X100 je vybavena většinou výstupů, kterými ochrana disponuje. Neobsahuje žádné vstupy, vyjma svorek pro připojení napájení ochrany. Kontakty PO3 a PO4 byly využity pro ovládání vypínače proto, že jsou rychlejší než kontakty SO a také proto, že jsou tyto kontakty opatřeny hlídačem funkčnosti vypínací cesty. Pro ovládání uzemňovače byly původně uvažovány kontakty SO1 a SO2, ale protože v případě použití kontaktu SO1 pro vypnutí uzemňovače nedocházelo k manipulaci, byl zaměněn za kontakt PO2, který fungoval bez problémů. V případě, že se vyžaduje kontaktů, které dosahují vyšších rychlostí, lze zvolit jako doplňkovou výbavu ochrany výstupy HSO, tedy kontakty vysoké rychlosti, u kterých je čas sepnutí o 5 - 6ms kratší než u konvenčních výstupů.

Svorkovnice X110 je kombinovaná a obsahuje jak binární vstupy, tak výstupy. Binární vstupy 1-8 jsou využity pro signalizaci pozice jednotlivých prvků modelu. V některých aplikacích je nutno pro jednotlivé vstupy nastavit vyšší filtrovací čas, aby nedocházelo k překmitům. V tomto případě to však nebylo nutné a filtrovací čas zůstal na předdefinovaných 5ms. Kontakty SO1 a SO2 byly přiřazeny k ovládání odpojovače 1. Zbylé kontakty SO3 a SO4 pak sloužily pro manipulaci s odpojovačem 2.

X120 je svorkovnice primárně sloužící pro připojení analogových vstupů, a to především sekundárních svorek transformátorů proudu. Kvůli určení této svorkovnice jsou její kontakty a konstrukce podstatně robustnější. Některé z kontaktů mohou být využívány i jako binární vstupy.

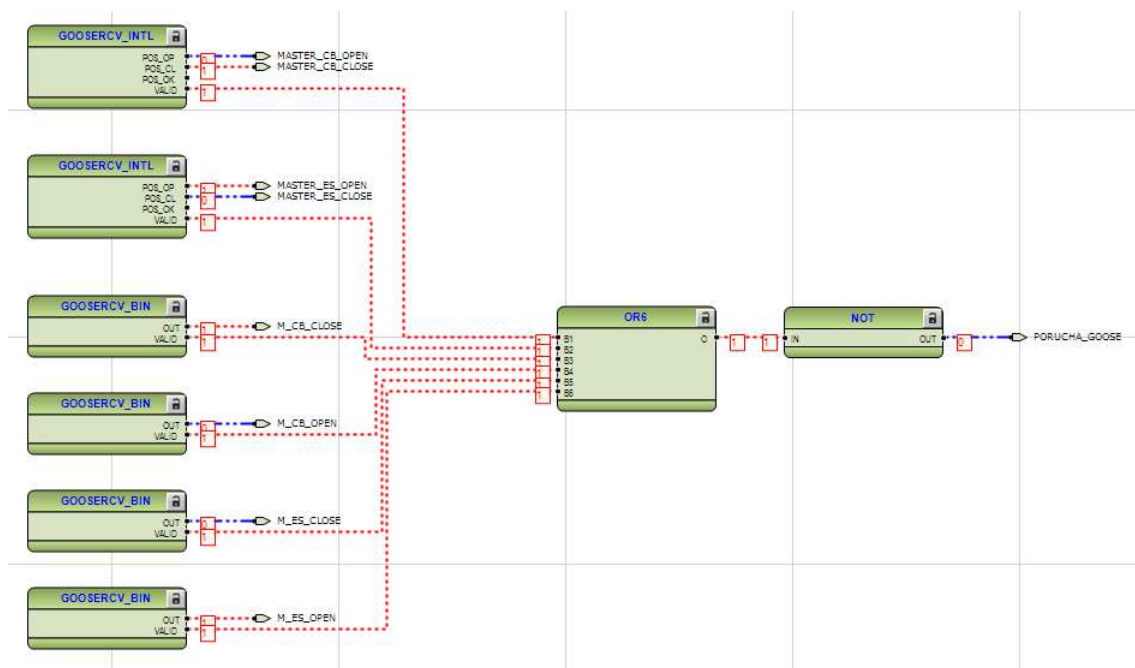
Svorkovnice X130 zahrnuje analogové vstupy napětí z sekundárních vinutí měřících transformátorů napětí. Podobně jak u svorkovnice X120 lze některé její kontakty využít pro připojení binárních vstupů. U této svorkovnice je toho využito a na BI1 je přiveden signál aktivace servisního režimu.

5.2 Testování úlohy

Výhodou tohoto projektu bylo, že jednotlivé kroky vytváření konfigurace mohly být libovolně testovány, bez jakéhokoliv dopadu. Při reálných konfiguracích často tato možnost nebývá a zodpovědný technik si musí dát pozor, aby obsáhl všechny potřebné funkce. Samozřejmě dochází vždy po instalaci nové ochrany ke zkouškám, ale některé chyby se mohou projevit až později, při provozu.

5.2.1 Testování konfigurace

Ochrany nejprve byly testovány a upravovány jednotlivě, zpočátku pouze jedna pro sestavení základní konfigurace, a poté i druhá pro otestování individuálních úprav, pro umožnění komunikace. Pro testování ochran samostatně bylo využíváno jak ovládání z ochrany, tak panelu a kontrolovalo se především, zda jsou správně přiřazeny prvky, jestli dochází ke správným operacím za jakýchkoli podmínek a také jestli správně fungují interní blokovací podmínky. Konfigurační prostředí PCM600 umožňuje v případě online konfigurace sledovat v reálném čase signály, které ochrana zpracovává. Tato funkce je velmi užitečná pro analýzu problémů jak v interní konfiguraci, tak i pro komunikaci.

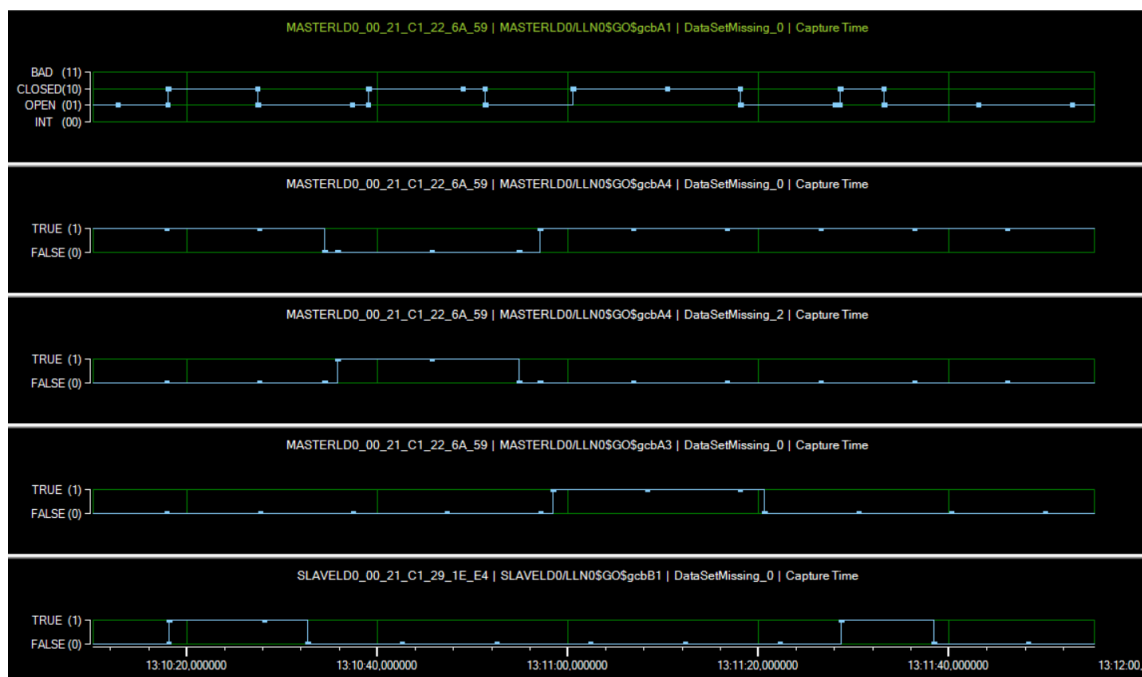


Obrázek 5.3: Příklad sledování signálů v reálném čase

V tomto projektu mělo sledování signálů hlavní využití při nastavování blokačních podmínek vycházejících z komunikace. Docházelo totiž ke ztrátě hodnoty signálu, která by bez této funkce byla velmi obtížně zjistitelná. Vyskytovala se chyba signálu, který po výstupu z přijímacího bloku GOOSERCV_INTL nabýval logické 1, ale při vstupu do jakéhokoliv dalšího bloku nabýval logické 0. K vyřešení problému nakonec napomohlo přetrasování signálů v konfiguraci a využití binární signalizace polohy prvků namísto více-stavové. Pro porovnání signálů však v konfiguraci byly ponechány signály odbavované bloky GOOSERCV_INTL i GOOSERCV_BIN. Rozdíl mezi těmito bloky je ten, že více-stavový blok odbavuje dvoubitovou komunikaci a binární pouze jednobitovou.

5.2.2 Testování komunikace GOOSE

Pro otestování komunikace GOOSE byl k ochranám pomocí industriálního switchu připojen počítač, který pomocí monitorovacího prostředí ITT600 SA Explorer od společnosti ABB s.r.o. dokázal zaznamenávat data vysílaná komunikací. Byly tedy nastaveny vhodné sety dat, aby bylo možno dokázat funkčnost všech nastavených blokad a také porovnání času odezvy u jednotlivých signálů. Pro testování komunikačních blokad byl model chráněný ochranou SLAVE připojen k systému přípojníc A, tedy byl sepnutý odpojovač Q1, dále byl vypnutý servisní režim na tomto modelu a zbylé prvky modelu se nacházely v rozepnutém stavu.



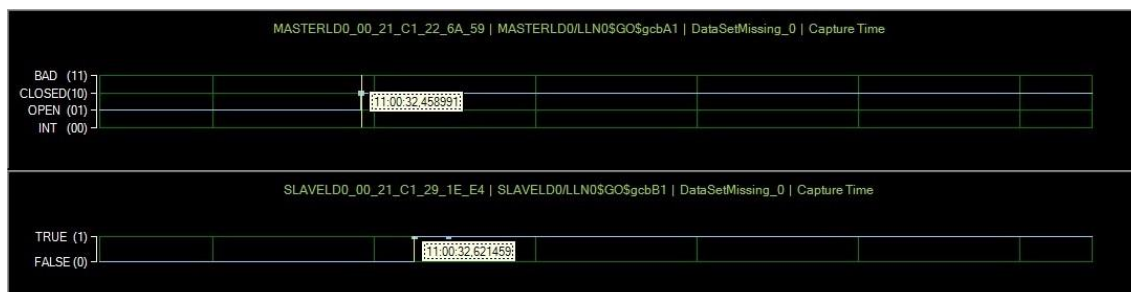
Obrázek 5.4: Zaznamenaná data komunikace blokování

Tento graf zachycuje GOOSE komunikaci mezi ochranou MASTER a SLAVE. Jak již bylo v konfiguraci popsáno, první průběh s označením A1 je více-stavový signál polohy vypínače v ochraně MASTER. Druhý průběh označený A4 je binární signalizace zapnutého stavu odpojovače 1 pro systém přípojníc A. Třetí spadá do stejného data setu jako předchozí a signalizuje zapnutý stav odpojovače 2 pro systém přípojníc B. Čtvrtý průběh s označením A3 znázorňuje signál aktivace servisního režimu a poslední průběh znázorňuje sepnutý stav vypínače v modelu chráněném ochranou SLAVE.

Na průbězích můžeme vidět, že komunikace je vysílána v určitých intervalech, nedochází-li ke změně komunikovaných dat. Dojde-li ke změně, ignoruje se čekací doba intervalu a k vysílání dochází ihned, interval se však nenarušuje a po vyslání informace pokračuje opět v předdefinovaných opakováních. První manipulací je sepnutí vypínače ochranou MASTER, na kterou reaguje ochrana SLAVE okamžitým sepnutím svého vypínače, protože je navolena cesta se stejným systémem přípojníc a není sepnutý uzemňovač. Druhou operací je vypnutí vypínače v kobce MASTER, na což ochrana SLAVE reaguje s přednastaveným 5000ms zpožděním a poté dochází k vypnutí vypínače v její kobce. Následně dochází k záměně systémů v kobce MASTER, po které je tato kobka připojena na systém přípojníc B a kobka SLAVE zůstává připojena na systém přípojníc A. Následné zapnutí vypínače v kobce MASTER již nevyvolává reakci v kobce SLAVE a nedochází k sepnutí jejího vypínače, jelikož se jedná o zakázanou manipulaci. Dále je kobka MASTER opět přepojena na systém přípojníc A, ale dochází k aktivaci servisního režimu, kdy opět sepnou vypínač v kobce MASTER. Ani na tuto manipulaci kobka SLAVE nereaguje, jelikož v případě údržby kobky MASTER a jejího servisního režimu nemůže reagovat na její stavy, protože pravděpodobně bude fungovat jako záloha. Na závěr je servisní režim vypnut a

znovu vyzkoušena reakce na zapnutí vypínače v kobce MASTER za splněných podmínek v kobce SLAVE, kdy dochází k okamžitému sepnutí jejího vypínače.

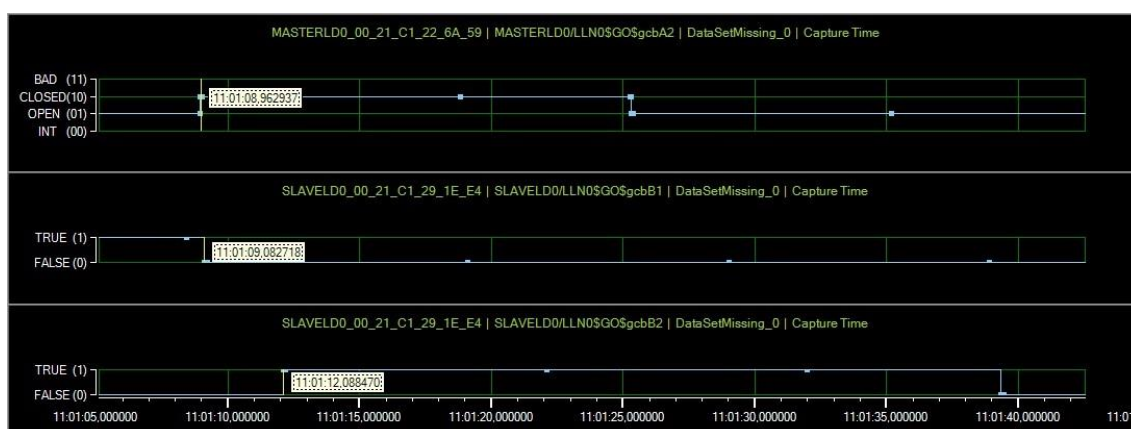
Jelikož monitorovací prostředí umožňuje přidání kurzoru s odečtem času, bylo možné výsledovat, jak dlouhá doba uplyne od vyslání stavu vypínače z ochrany MASTER, k sepnutí vypínače v kobce SLAVE a vyslání signálu o sepnutí zpět do ochrany MASTER.



Obrázek 5.5: Zobrazení času sepnutí

Z průběhů je patrné, že k vyslání signálu došlo v 11:00:32,458991 a k vyslání zpětné vazby v 11:00:32,621459, což znamená, že od vyslání stavu signálu z jedné ochrany do vyslání zpětné vazby z ochrany druhé uběhlo přibližně 162ms. V tomto případě se jedná o kontakty PO, které jsou ovládány běžnou logikou.

V následujícím grafu je zobrazená reakce, kdy při sepnutém vypínači v kobce SLAVE dojde k uzemnění vývodu v kobce MASTER.



Obrázek 5.6: Zobrazení času vypnutí

Zde je zobrazena více-stavová signalizace stavu uzemňovače kobky MASTER, vypínač kobky SLAVE a její uzemňovač. Z grafu lze vyčíst časy 11:01:08,962937, což je čas vyslání signálu o uzemnění vývodu kobky MASTER, čas 11:01:09,082718, což je čas vyslání zpětné vazby o vypnutí vypínače v kobce SLAVE, a poslední čas 11:01:12,088470, což je čas uzemnění vývodu kobky SLAVE. Po odečtení časů zjistíme, že od odeslání informace o sepnutí uzemňovače v kobce MASTER do vyslání zpětné vazby o vypnutí vypínače v kobce SLAVE došlo po 120ms. Tento čas je kratší než při sepnutí, jelikož je pro vypnutí využito hlavní vypínací logiky, která má prioritu. Časy jsou také ovlivněny rychlostí spínání relé jak v modelu, tak

výstupů na ochraně. K uzemnění vývodu pak došlo po 3125ms, což je téměř stejný čas jako u vypnutí vypínače, ale je navýšen o prodlevu, která byla uvedena v zadání, tedy 3000ms.

Poslední graf znázorňuje porovnání doby komunikování informace o stavu vypínače jak pomocí více stavové informace, tak pomocí dvou binárních signálů, aby bylo potvrzeno, že obě varianty jsou časově totožné, a použitím jedné nebo druhé varianty nedochází k ovlivnění rychlosti komunikace.



Obrázek 5.7: Porovnání časů vysílání signálů

Lze tedy říci, že všechny potřebné blokády, které jsme uvažovali a jsou pro provoz nezbytné, fungují bez problémů. Jednotlivé časy operací se liší podle toho, jaké jsou použité spínací prvky v obvodu a jakých výstupů na ochraně se používá. Samotná ochrana má určitý reakční čas a spínací doba prvků také není zanedbatelná.

Závěr

Cílem této práce bylo seznámení se s teoretickou problematikou moderních elektronických ochran, přiblížení některých ochranných funkcí a popis komunikačních protokolů se zaměřením na komunikaci pomocí GOOSE zpráv. Dále je v práci zahrnut popis konfigurace ochran REF 615 pomocí prostředí PCM600, které je také využíváno pro nastavování parametrů ochrany a komunikace.

První část práce se zabývá teoretickým úvodem do problematiky moderních elektronických ochran IED. Je zde obsažen popis, jak tato zařízení fungují, jejich základní dělení se zaměřením na skupinu Relion 615 - rozbor základních ochranných funkcí, jejich výhody, nevýhody a obecné požadavky na zařízení a přidružené periferie. Zmínil jsem zde také hlavní důvody, proč se v dnešní době jejich využití rozrůstá, a to zejména v zaměření na komunikaci.

Následující blok obsahuje seznámení se základními komunikačními protokoly, které se v praxi využívají. Jedná se o protokoly využívané jak pro vertikální, tak horizontální komunikaci. Větší prostor je zde věnován protokolu IEC 61850 a zejména komunikaci typu GOOSE, kterou se zabývá i praktická část této práce. Je zde popsána datová struktura vyplývající z protokolu IEC 61850 i úrovně samotné komunikace.

V další části se zabývám specifikací zadání. Je zde obsažen popis zkušebního modelu, který byl vytvořen firmou Q - ELEKTRIK a.s., a je využíván pro simulaci chráněného objektu jednotlivých ochran. Dále je v této části věnován poměrně velký prostor popisu blokovacích podmínek pro sepnutí a rozepnutí jednotlivých prvků. Podmínky jsou zde uváděny jak interní, které platí pro samotnou kobku, tak také ty, které vycházejí z komunikace. Blokovací podmínky vycházející z komunikace jsou v této práci důležité, jelikož právě jejich funkce je ověřována v praktické části práce.

Předposlední blok popisuje podrobně jednotlivé části konfigurace obou ochran se zdůvodněním rozdílů, které jsou v jejich konfiguracích provedeny. Dále se zde nachází konfigurace GOOSE zpráv obou zařízení. Komunikace je doplněna o nastavení data setů. Poslední věcí, která je zde popisována, je SLD, tedy jednopólové schéma.

Poslední část se zabývá pouze realizací modelu a vyhodnocením dat. Jsou zde zobrazeny modely obou kobek včetně ochran. Podrobně jsou zde popsány jednotlivé vstupy a výstupy ochrany, které jsou v této aplikaci využívány. Přiřazení výstupů je okomentováno z důvodu různých vlastností jednotlivých portů. Testování je rozepsáno ve dvou odstavcích, jelikož se při tvorbě konfigurace nejprve testovalo pouze ovládání kobky bez využití komunikace. Bylo to z důvodu, že konfiguraci bylo potřeba postupně upravovat, aby splnila všechny požadavky. Testování včetně komunikace bylo náročnější, jelikož v případě potřeby změny její konfigurace muselo dojít k přehraní dat v obou ochranách. Po dokončení úprav konfigurací došlo k testování samotné komunikace pro ověření GOOSE zpráv. Výsledky těchto testů jsou podrobně popsány v závěru tohoto bloku včetně časových údajů.

Možnost spolupráce s firmou Q - ELEKTRIK a.s. na této diplomové práci pro mne byla velmi přínosná. Mimo to, že mi bylo umožněno využít jejich zařízení, jsem měl i možnost pracovat na různých projektech. Tyto projekty zahrnovaly například zkoušení ochran na různých provozech, jako například rozvodny na povrchu důlních závodů. Tyto zkoušky ve většině případů zahrnovaly funkční, primární proudové a zemní směrovací zkoušky. Mimo ty jsem měl možnost i fárat a podílet se na výměně ochrany umístěné v revíru dolu. Měl jsem tedy možnost nasbírat v závěrečném ročníku mnoho praktických zkušeností, které mohou být pro některé absolventy vzácné. Nadále mi tyto zkušenosti umožnily více pochopit moderní ochrany, způsob, jakým se konfiguruje a také jejich problémy. Se zprávami GOOSE jsem se měl možnost setkat v rozvodně Teplárny Karviná, kde jsme analyzovali problém v komunikaci. Tato zkušenost mi umožnila komunikaci GOOSE vidět i v reálné aplikaci a mezi různými typy ochran.

Z mého pohledu tedy usuzuji, že výsledná práce splňuje požadavky kladené zadavatelem a běžnými provozními předpisy. Hlavní zadání, komunikaci GOOSE, se mi povedlo zprovoznit dle kladených požadavků. Tím, že jsou u testování vyhodnoceny i časové údaje, je možno porovnávat různé typy výstupů a periférií a tím optimalizovat ochrany pro různé aplikace. Složitější je, pokud v rámci komunikační sítě využíváme různé typy a řady ochran. Je rozdíl, jestli v síti komunikují pouze ochrany řady Relion 615, nebo jsou implementovány i ochrany jiných řad, například Relion 620. Standard IEC 61850 a tedy i komunikace GOOSE umožňují sdílení informací mezi různými značkami ochran, například ABB a Siemens, pokud zařízení daný protokol podporují. V tomto případě je však nutné využít externího kompilátoru, který umožní vytvoření společného SCL souboru, který je pro konfiguraci komunikace potřebný.

Použitá literatura

- [1] ABB s.r.o.: Technical Manual 615 series. ABB s.r.o. 2016. 1224 s. ID: 1MRS756887
- [2] ABB s.r.o.: Feeder Protection and Control REF 615 Application Manual. ABB s.r.o. 2012. 212 s. ID: 1MRS756378
- [3] Fei Xia, Zongze Xia, Xiaobo Huang: Summary of GOOSE Substation Communication, EDP Sciences. 2015
- [4] Salman Mohaghehl, Mirrasoul Mousavi: Modeling Distribution Automation System Components Using IEC 61850. 2009
Dostupné také z: <https://www.researchgate.net/publication/224598619> (16.04.2019)
- [5] Ralph Mackiewicz: Technical Overview and Benefits of the IEC 61850 Standard for Substation Automation
- [6] ABB s.r.o.: Data Model of the Standard IEC 61850. 2006
- [7] ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992